

BENEDITO CARLOS DE ALMEIDA

**CONTRIBUIÇÃO PARA MELHORIA DO PROCESSO DE
SECAGEM CONVENCIONAL DE MADEIRAS SERRADAS NA
REGIÃO NORTE DO ESTADO DE MATO GROSSO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Doutor Ivan Tomaselli

CURITIBA - PR

2011

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Almeida, Benedito Carlos de

Contribuição para melhoria do processo de secagem convencional de madeiras serradas na região norte do estado de Mato Grosso / Benedito Carlos de Almeida. – 2013

82 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Tomaselli

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 29/04/2011.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Secagem. 2. Indústria madeireira – Mato Grosso. 3. Madeira – Mato Grosso. 4. Teses. I. Tomaselli, Ivan. II. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. III. Título.

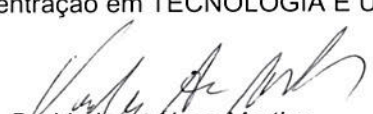
CDD – 634.9

CDU – 634.0.847

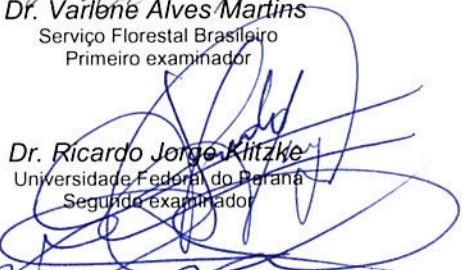
PARECER

Defesa nº. 871

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Benedito Carlos de Almeida* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**CONTRIBUIÇÃO PARA MELHORIA DO PROCESSO DE SECAGEM CONVENCIONAL DE MADEIRAS SERRADAS NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE MATO GROSSO**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.



Dr. Václav Alves Martins
Serviço Florestal Brasileiro
Primeiro examinador



Dr. Ricardo Jorge Klitzke
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador



Dr. Ivan Tomaselli
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 29 de abril de 2011.



Setsuo Iwakiri

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
João Carlos Garzel Leodoro da Silva
Vice-coordenador do curso



À minha esposa Janaína,

Mulher de fibra, mesmo tendo consciência da minha ausência, foi a maior incentivadora para a realização deste trabalho, assumindo toda responsabilidade dos cuidados com a nossa princesinha Maria Fernanda e com o nosso campeão Luiz Otavio.

A toda minha Família,

Pelo apoio e incentivo ao longo do trabalho, aqui representada pela minha mãe Helena Maria de Almeida e pela minha vó Maria Catarina de Almeida.

A minha sogra Dona Neli e a minha cunhada Alessandra,

Por não medirem esforços, dedicando horas a fio auxiliando minha esposa nas tarefas de mãe de primeira viagem.

À memória de meu pai Ireno Ramos e de meus irmãos Édio Lenilson e Luiz Márcio.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS fonte inesgotável de amor e sabedoria.

Ao Professor Dr. Ivan Tomaselli, por receber-me como orientado, pelas valiosas sugestões e pela paciência de esperar o término deste trabalho.

Ao Professor Dr. Ricardo Jorge Klitzke, pelas correções criteriosas, fundamentais para finalização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Varlone Alves Martins, membro da banca examinadora pelas sugestões de melhorias.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos empresários que permitiram a coleta das informações em suas empresas.

A secretaria do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná nas pessoas do Sr^o. Reinaldo Mendes de Souza, Sr^a Elinor do Rocio L. Gorin e o Sr^o. David Teixeira de Araujo, pelas orientações quanto aos tramites burocráticos da Instituição.

A biblioteca de Ciências Florestais e da madeira, da Universidade Federal do Paraná, na pessoa da Sr^a Tânia de Barros Baggio, pela grande ajuda na busca por referências bibliográficas e na formatação do trabalho.

Aos Professores do Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Prof^a Dr^a. Graciela Muñiz, Prof^o Dr. João Carlos Moreschi, Prof^o Dr. Jorge Matos, Prof^o Dr. Márcio Rocha, Prof^o Dr. Setsuo Iwakiri e o Prof^o Dr. Arnoud Bonduelle, pelos valiosos ensinamentos.

Aos colegas da Pós-Graduação, Alexandre, Daniel, Patrícia, Carlos, Mário pela amizade que minimizou a solidão por estar tão distante da terra natal, e aos demais colegas aqui não apresentados.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
SUMMARY	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
3 REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 O ESTADO DE MATO GROSSO	5
3.2 A INDÚSTRIA MADEIREIRA	6
3.3 PROGRAMAS DE INCENTIVOS DO GOVERNO PARA O SETOR	6
3.4 REGIÕES FLORESTAIS DOS MUNICÍPIOS PESQUISADOS	8
3.5 SECAGEM DA MADEIRA	9
3.5.1 Importância da secagem	9
3.5.2 Princípios da secagem de madeira serrada	10
3.5.2.1 Aspectos físicos da secagem	10
3.5.2.2 Condução de líquidos na madeira	11
3.5.2.3 Localização da água na madeira	11
3.5.2.4 Tipos de água na madeira	11
3.5.2.5 Movimento da água na madeira	11
3.5.3 Fatores que influenciam na velocidade de secagem da madeira	16
3.5.3.1 Fatores intrínsecos à madeira	16
3.5.3.2 Fatores intrínsecos ao ambiente	17
3.5.4 Secagem de Madeiras	20
3.5.4.1 Secagem em estufa convencional	21
3.5.4.2 Programação de secagem	22
3.5.4.3 Controle das condições de secagem	25
3.5.5 Defeitos de secagem	27

4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	LOCAIS DE ESTUDO	33
4.2	BASE DE DADOS	34
4.3	LEVANTAMENTO INICIAL	34
4.4	COLETA DE DADOS	35
4.5	APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO	35
4.6	AVALIAÇÕES DA ESTRUTURA E DAS OPERAÇÕES	36
4.7	TABULAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISES	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	ASPECTOS GERAIS	38
5.1.1	Madeiras submetidas a secagem em estufa	39
5.1.2	Equipamentos utilizados na secagem	41
5.1.2.1	Características gerais da estufas	41
5.1.2.2	Sistema de carregamento	46
5.1.2.3	Sistema de aquecimento	49
5.1.2.4	Sistema de ventilação	51
5.1.2.5	Sistema de Renovação de ar “ <i>damper’s</i> ”	53
5.2	FONTE DE GERAÇÃO DE ENERGIA	54
5.3	OPERAÇÃO DE SECAGEM	57
5.3.1	Empilhamento	57
5.3.2	Programas de secagem	60
5.3.3	Teor de umidade final	61
5.3.4	Recursos humanos envolvidos na operação	62
5.4	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA SECAGEM	63
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	ANEXO I – QUESTIONÁRIO APLICADO NAS INDÚSTRIAS	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Os possíveis caminhos pelo qual a água higroscópica movimento pela madeira	14
Figura 2	Teor de umidade de equilíbrio em vários ambientes	19
Figura 3	Os principais defeitos de secagem da madeira	28
Figura 4	Pólos pesquisados	33
Figura 5	Destino da madeira seca em estufa nos pólos pesquisados.....	41
Figura 6	Motivo da escolha da equipamento empregado	43
Figura 7	Secador construído em alvenaria	44
Figura 8	Secador metálico.....	45
Figura 9	Secador construído pela própria empresa	45
Figura 10	Carregamento do secador por sistema de vagonete	47
Figura 11	Secador carregado por empilhadeira	47
Figura 12	Sistema de aquecimento utilizando vapor em trocadores de calor com tubos aletados.	50
Figura 13	Modelo de intercambiador (gerador de ar quente).....	51
Figura 14	Ventilador típico utilizado nos secadores	52
Figura 15	Entradas e saídas (<i>dampers</i>) de ar utilizado nas estufas	54
Figura 16	Grupo gerador utilizado por indústria na região pesquisada.....	56
Figura 17	Caldeiras típicas utilizadas pelas indústrias na região pesquisada para produção de vapor	57
Figura 18	Forma de empilhamentos encontrados nas indústrias.....	59
Figura 19	Nível de Escolaridade dos operadores do setor de secagem.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Capacidade instalada das indústrias pesquisadas para produção de madeira seca	38
Tabela 2	Espécies e produção mensal de madeira seca por pólo pesquisado	39
Tabela 3	Espécies de madeiras secas pelo processo convencional nos pólos pesquisados	40
Tabela 4	Características básicas dos secadores das indústrias pesquisadas.	42
Tabela 5	Distribuição dos secadores em funcionamento nas indústrias pesquisadas.	43
Tabela 6	Material empregado na construção dos secadores	46
Tabela 7	Sistemas de carregamento encontrados nas indústrias pesquisadas	48
Tabela 8	Fonte de energia elétrica e térmica utilizadas nas indústrias.....	55
Tabela 9	Dimensões das peças de madeira utilizadas na preparação da carga dos secadores	58
Tabela 10	Percentual dos defeitos ocorridos durante a secagem	59
Tabela 11	Padrões de temperaturas e umidades relativas encontrados nos programas de secagem nas empresas dos pólos pesquisados.....	60
Tabela 12	Teor de umidade final da madeira seca em cada empresa dos pólos pesquisados	61
Tabela 13	Nível de qualificação dos operadores e origem do conhecimento	62

RESUMO

A secagem é considerada uma das fases fundamentais no processo de transformação da madeira em produtos de maior valor agregado. No entanto, a baixa eficiência dos equipamentos (secadores) associada as limitações técnicas-operacionais e a falta de interesse por parte das indústrias de investir em inovações tecnológicas, tem contribuído para a limitada capacidade competitiva do setor de base florestal do Estado de Mato Grosso.

Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo contribuir para melhoria da eficiência e da competitividade da indústria de base florestal do Estado de Mato Grosso. Propondo ações para melhorar a eficiência do processo de secagem artificial de madeira serrada, como forma de viabilizar a oferta de produtos de maior valor agregado ao mercado. Considerando que as áreas relacionadas a adequação do processo de secagem, adequação do equipamento e a capacitação dos recursos humanos na gestão e operação foram investigadas prioritariamente.

As informações apresentadas neste estudo foram coletadas em 16 indústrias pertencentes aos principais pólos madeireiro do Estado de Mato Grosso (Sinop, Juína e Alta Floresta). Os levantamentos realizados nessas indústrias revelam que independentemente do pólo pesquisado, a seleção de equipamentos não considera aspectos técnicos básicos, incluindo parâmetros econômicos e isto leva em geral a implantação de estruturas ineficientes de secagem. O levantamento revela ainda que a falta mão-de-obra qualificada é um dos mais sérios entraves para as indústrias avaliadas e que das práticas operacionais a que necessidade de intervenção imediata, e com a possibilidade de ganhos significativos de produtividade e qualidade, esta relacionada ao empilhamento.

Para que as indústrias alcancem um padrão de qualidade da madeira seca, propõem-se a criação de um programa de apoio tecnológico para melhoria do processo de secagem, com a colaboração do setor público e privado considerando as ações básicas como apoio a gestão empresarial, incluído assistência técnica para o fortalecimento da capacidade técnica na área de seleção de processos e equipamentos e a qualificação de mão-de-obra operacional para melhorar a produtividade e os padrões de qualidade da madeira seca.

SUMMARY

Drying is considered one of the key stages in the process of transforming wood into products of higher added value. However, the low efficiency of equipment (dryers) associated with the technical-operational limitations and lack of interest from industries to invest in technological innovations, has contributed to the limited competitive ability of forest-based sector of the State of Mato Grosso.

In this sense, the present study aimed to contribute to improving the efficiency and competitiveness of forest-based industry in the State of Mato Grosso. Proposing actions to improve the efficiency of artificial drying of sawn timber, so as to enable the provision of products with higher added value to the market. Whereas the areas related to the adequacy of the drying process, suitability of equipment and human resources training in the management and operation were investigated first.

The information presented in this study were collected in 16 industries belonging to the main timber of the State of Mato Grosso (Sinop, Juína and Alta Floresta). Surveys conducted in these industries shows that regardless of the cluster search, the selection of equipment does not consider the basic technical aspects, including economic parameters and this leads in general to implement structures inefficient drying. The survey also shows that lack skilled labor is one of the most serious barriers for industries evaluated and operational practices that need immediate intervention, and the possibility of significant gains in productivity and quality, is related to stacking.

For industries to achieve a quality standard of dry wood, we propose the creation of a support program for technological improvement of the drying process, with the collaboration of public and private sector considering the basic actions in support of business management, including technical assistance for strengthening technical capacity in the area of process selection and qualification of equipment and manpower to improve operational productivity and quality standards of the dry wood

1. INTRODUÇÃO

O Estado de Mato Grosso possui uma extensão territorial, com 906.806 km², deste total 52% são constituídos por Floresta Amazônica, com potencial madeireiro estimado em 400 milhões de m³, com aproximadamente 200 espécies de madeira nativa, com possibilidade de aproveitamento comercial. Deste volume apenas 15% é atualmente explorado comercialmente. A produção madeireira do Estado está fortemente concentrada nos municípios localizados na região norte, acima do paralelo 13, que fazem parte da floresta amazônica e caracterizam-se pela alta biodiversidade (SENAI/DN, 2002).

Com o grande percentual da extensão territorial do Estado inserido dentro desta formação que é de grande valor econômico, a vocação da região é a do aproveitamento múltiplo e racional deste recurso natural. Porém, entre diferentes possibilidades de exploração dos recursos naturais renováveis, a exploração e o processamento industrial de madeira ainda hoje é uma das principais atividades econômicas da região.

A indústria florestal começou a desenvolver-se no final da década de 60 e durante a década de 70, quando por estímulo do Governo Federal, ocorreu o avanço sobre a Amazônia Legal impulsionada principalmente pelo incentivo para a implantação de programas agrícolas e pecuários. Com a derrubada da mata para implantação de lavouras e pastagem para o gado, a atividade de extração da madeira nativa foi tomando importância no contexto regional.

Neste período, no sul do país, o setor industrial madeireiro vivia outra realidade. Os pinheiros e outras fontes de madeira estavam tornando-se escassos e já não existiam tantas folhosas de boa qualidade para serem industrializadas. Os reflorestamentos, por outro lado ainda jovens não forneciam madeiras em quantidade e qualidade para a indústria.

Começava então uma corrida, rumo ao norte do país em busca de um novo *eldorado*, e isto incentivava a exploração florestal de Mato Grosso. A heterogeneidade da floresta tropical tornava-se um atrativo favorável à instalação de muitas indústrias, mas também um grande desafio.

Os industriais madeireiros do sul que se instalaram no Mato Grosso trouxeram seus conhecimentos e algumas novidades para a região, como a instalação de empresas “móveis”, assim denominadas pela facilidade em transportá-las de um local para outro, seguindo as frentes de abertura de terras para as atividades de pecuária e agricultura, e em busca de matéria-prima de baixo custo.

Um dos esforços recentes foi à busca de alternativas para perenizar a atividade, e isto incluiu investimentos para introduzir novas espécies, ganhar produtividade, agregar valor e outras ações. Como resultado a indústria de base florestal de Mato Grosso vem intensificando suas atividades para aprimorar seu processo produtivo (qualidade e produtividade). Entretanto, apesar de todos os esforços para melhoria do processo e introdução de tecnologias em desenvolvimento, Mato Grosso, no contexto nacional, continua configurando-se como um fornecedor de matéria-prima de produtos de madeira de baixo valor agregado (madeira serrada em bruto sem beneficiamento) para outros estados brasileiros. Esta situação se deve ao fato de que a maioria das indústrias de base florestal de Mato Grosso opera com um padrão de qualidade do mercado que não atende a mercados mais sofisticados, especialmente o mercado internacional.

Por outro lado a disputa por novos mercados tem obrigado a indústria madeireira do Estado a avançar na busca de novas tecnologias, bem como no desenvolvimento de novos conceitos produtivos, visando melhorar sua competitividade através da produtividade e da qualidade de seus produtos.

Para apoiar este processo o Governo do Estado de Mato Grosso através da Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração, tem desenvolvido ações para melhoria de gestão na cadeia produtiva da madeira, e o fortalecimento deste setor econômico. Entre as ações esta a criação do PROMADEIRA - Programa de Desenvolvimento do Agronegócio da Madeira no Estado de Mato Grosso, instituído através da Lei 7.200/99 e que trata da concessão de incentivos com renúncia fiscal de até 85% do ICMS por um período de 6 (seis) anos, conforme o estágio de industrialização, tornando as empresas mais competitivas.

Dentro deste contexto, a secagem é a operação obrigatória para o processo de agregação de valor na indústria madeireira. Sem ela não é possível o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, e também é uma das fases de maior custo dentro da indústria de transformação. Essas são as principais razões pelos investimentos em estufas de madeira e no aprimoramento do processo de secagem.

Para JANKOWSKY (1991), a qualidade do produto final está na dependência de três fatores básicos envolvidos na produção: insumos, processamento e mão de obra operacional e gerencial. Qualquer falha em um desses três fatores prejudicará o padrão de qualidade.

A fim de atingir as suas metas de qualidade, a empresa deve organizar o seu processo produtivo de forma que os fatores técnicos, administrativos e humanos, que afetam a qualidade e serviços, estejam monitorados e otimizados. Todo o controle deve ser orientado

no sentido da redução, eliminação e acima de tudo, prevenção de deficiências da qualidade, (MACFARLENE e CASTRO, 1990).

Se a indústria de base florestal mato-grossense quiser desenvolver produtos de maior valor agregado tais como pisos, portas, móveis e outros, e acima de tudo garantir um padrão de qualidade para atender a mercados mais exigentes e que remuneram melhor, deverá necessariamente inicialmente evoluir significativamente na secagem do material madeira, um processo vital na agregação de valor.

Por este motivo, é importante avaliar como a indústria madeireira está utilizando esta tecnologia e quais são os investimentos e conhecimentos disponíveis aplicados ao processo de secagem, e ainda qual o seu reflexo na qualidade dos produtos e na agregação de valor.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Contribuir para melhoria da eficiência e da competitividade da indústria de base florestal do Estado de Mato Grosso.

Objetivos Específicos

- a) Realizar um diagnóstico da situação de secagem artificial de madeiras na região de estudo;
- b) Propor ações para melhorar a eficiência do processo de secagem artificial de madeira serrada, como forma de viabilizar a oferta de produtos de maior valor agregado ao mercado. Este objetivo considera que serão contempladas, entre outras, as seguintes áreas de investigação como prioritárias:
 - Adequação do processo de secagem;
 - Adequação do equipamento;
 - Capacitação dos recursos humanos na gestão e operação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O ESTADO DE MATO GROSSO

O Estado de Mato Grosso detém uma extensão territorial com 903.366,192 km² dos quais 468.233 Km² (51,63%) situam na Amazônia Legal, que é o território compreendido pelos Estados do Acre, Pará, Amazonas, Roraima, Rondônia, Amapá e Mato Grosso e as regiões situadas ao norte do paralelo 13° S, dos Estados de Tocantins e Goiás, e ao oeste do meridiano de 44° W, do Estado do Maranhão.

O censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em 2010 indica que o Mato Grosso possui uma população de 3.035.122 habitantes, o que representa 1,59% da população brasileira. O território mato-grossense possui grandes vazios demográficos, fato que interfere diretamente na densidade demográfica estadual, que atualmente, é de 3,36 habitantes por quilômetro quadrado, portanto, o Estado é pouco povoado. A taxa de crescimento demográfico é de 2,4% ao ano e sua capital é Cuiabá (IBGE, 2010).

O Produto Interno Bruto - PIB do Estado é de R\$ 31,0 bilhões (equivalente a 1,44% do PIB nacional) e o PIB per capita corresponde a R\$ 12,35 mil. A participação das atividades econômicas no PIB de Mato Grosso é de 55% Serviços; 28,1% Agropecuária e 16,4% Indústria (BASA, 2010) e (IBGE, 2010).

De maneira geral Mato Grosso conta com boa infraestrutura de transporte (rodovias, hidrovias e ferrovias), energia, e esta no centro do celeiro agrícola do País. A maior dificuldade que afeta a competitividade esta na distância dos grandes centros consumidores, o que agrega custos elevados aos produtos do Estado. Para sobrepor as dificuldades o poder público em conjunto com a iniciativa privada esta em processo de introdução de iniciativas empreendedoras que visam a utilização racional das matérias-primas locais e que venham contribuir para o aumento do valor agregado dos produtos. Ao mesmo tempo, as iniciativas consideram o enorme valor intrínseco do ativo ecológico existente na região, de forma que os recursos naturais sejam aproveitados dentro dos princípios de sustentabilidade.

Mato Grosso limita-se ao norte com os Estados do Pará e Amazonas, a leste com Goiás, ao sul com Mato Grosso do Sul e a oeste com Rondônia e Bolívia. É parte integrante da região Centro Oeste do Brasil. Pelo Estado, na altura dos paralelos 14 e 15 graus ocorre o maior divisor de águas da América do Sul, entre as bacias opostas: Amazônica ao norte e Platina ao sul.

3.2 A INDÚSTRIA MADEIREIRA

A produção de madeira processada praticamente permaneceu estável nas últimas décadas. Em 1998, foram produzidos 10,8 milhões de metros cúbicos de madeira processada, enquanto em 2004 houve uma ligeira queda para 10,4 milhões de metros cúbicos.

Em geral houve uma melhoria na eficiência do processamento da madeira. Em 1998, o rendimento médio das madeiras era 38%, e em 2004 atingiu 42%. Esse incremento no rendimento gerou uma economia significativa de matéria-prima e aumentou a competitividade do setor.

Outro aspecto importante foi a migração da atividade madeireira em direção ao oeste do Pará, sudeste do Amazonas e extremo noroeste do Mato Grosso. A grande maioria das empresas são serrarias, e o restante são laminadoras e fábricas de compensados. A proliferação de empresas ocorreu principalmente nos polos mais recentes (< 10 anos) como Novo Progresso; Castelo dos Sonhos (oeste do Pará); Colniza e Aripuanã (extremo noroeste do Mato Grosso) (IMAZON, 2005).

3.3 PROGRAMAS DE INCENTIVOS DO GOVERNO PARA O SETOR

A partir de 2000 vários projetos especiais foram criados, como forma de incentivar o crescimento econômico do setor florestal do Estado de Mato Grosso. Neste cenário esta o seguinte projeto:

- PROMADEIRA – Programa de Desenvolvimento do Agro-Negócio da Madeira no Estado.

PROMADEIRA (SENAI/MT, 2008).

O PROMADEIRA - Programa de Desenvolvimento do Agro-Negócio da Madeira no Estado de Mato Grosso - foi instituído através da Lei 7.200/99 e trata da concessão de incentivos com renúncia fiscal de até 85% do ICMS por um período de 6 anos, para as empresas que explorem atividades madeireiras. O PROMADEIRA tem por objetivo estabelecer:

- Política de sustentabilidade de recursos florestais;
- Política de tributação, fiscalização e controle ambiental;
- Política de competitividade;
- Incentivo a verticalização e agregação de valores aos produtos florestais;

- Promoção da modernização através da implantação de programas de qualidade e gestão.

Os critérios de beneficiamento geram diferentes alíquotas de benefício pelo Programa:

- Estágio Preliminar - Secagem, tratamento e conservação química da madeira serrada – 40% do valor do crédito fiscal;
- Estágio Intermediário - Beneficiamento primário (Lambris, Forros, Tacos, Pré-cortados, Esquadrias), faqueados, laminados e compensados – 90% do valor do crédito fiscal;
- Estágio Avançado - Móveis em geral, painéis decorativos multilaminados para piso e revestimentos, aglomerados, MDF e chapa dura – 95% do valor do crédito fiscal;
- Aproveitamento de Resíduos de Madeira e bagaço de cana-de-açúcar – 100% do valor do crédito fiscal.

Para a empresa se habilitar a estes incentivos são exigidos os seguintes atestados:

- Origem da madeira, isto é, procedência devidamente aprovada pelos órgãos ambientais;
- Comprovação de regularidade fiscal;
- Comprovação de implantação de Programas de qualidade e gestão.

Cerca de 420 empresas já se beneficiaram dos incentivos do PROMADEIRA (SENAI/MT, 2008).

A procura por cursos de qualificação e os incentivos fiscais oferecidos pelo PROMADEIRA fizeram o faturamento das empresas credenciadas crescerem em 45,7% desde a sua criação. O número de empregos nessas mesmas empresas aumentou em 19%, passando de 2,9 mil trabalhadores para 3,5 mil. As estimativas são da Secretaria de Indústria, Comércio e Mineração, que gerencia o Programa. O PROMADEIRA tem incentivado a indústria da madeira do Estado a se tornar competitiva internamente e também no mercado externo.

Ainda de acordo com as estatísticas, as empresas que optaram pelo PROMADEIRA tiveram aumento de 27,9% na produção (SECOM/MT 2009).

3.4 REGIÕES FLORESTAIS DOS MUNICÍPIOS PESQUISADOS

· Região Florestal do Noroeste do Estado

Esta região é constituída pelos municípios de Aripuanã, Juína, Juara e Porto dos Gaúchos que se localizam ao norte do paralelo 13. A maior parte dessa região é coberta por floresta alta, notando-se a presença de cerradões a oeste da confluência dos rios Juruena e Arinos, e cerrados nas margens dos rios do Sangue, entre as cidades de Juína e Porto dos Gaúchos. Manchas pequenas e esparsas de cerrado são encontradas ainda no município de Aripuanã. (BRASIL, 1975 e 1979); (IEL, 1999); (SIC/MT, 2000); (FERREIRA, 2001) e (FAMATO, 2004).

A floresta dessa região é caracterizada principalmente pela ocorrência de Caixeta - *Simarouba amara*, Caroba - *Jacaranda copaia*, Ipê - *Tabebuia sp*, Jatobá - *Hymenaea coubaril*, Cumaru - *Dipteryx odorata*, Muiracatiara - *Astronium sp*, Tauari *Couratari sp*, Peroba-mica - *Aspidosperma populifolium*, Cedrinho - *Erismia uncinatum*, Cerejeira - *Torresea acreana*, Angelim - *Hymenolobium sp*, Garapeira - *Apuleia molaris*, Cupiuba - *Goupia glabra*, Angelim-pedra - *Hymenolobium sp*, Tatajuba - *Bagassa guyanensis* e Maçaranduba - *Manilkara sp*.

Os principais tipos de solos que ocorrem nesta região são: podzólicos vermelho-amarelo, litólico, latossolo vermelho-amarelo e latossolo amarelo.

A estrutura viária que liga os municípios de Juara e Juína a Aripuanã, ainda é precária.

Nesta região destaca-se o município de Juína pela alta concentração de indústria de base florestal.

· Região Florestal do Centro-Norte do Estado

Incluem-se nesta região os municípios de Alta Floresta, Colíder e Sinop, localizam-se ao sul do paralelo 13.

Predomina floresta alta em praticamente toda a região, com presença de cerradão a noroeste de Sinop e cerrado na cabeceira das bacias dos rios Verde e Arinos. A mata de várzea ocorre nas margens do rio Xingu e de seus principais afluentes.

O tipo de solo predominante é o latossolo amarelo, entre mesclado de manchas de solos litólicos e podzólicos vermelho-amarelo. Registra-se ocorrência de terra roxa estruturada ao redor de Colíder.

A região está sofrendo grande pressão sobre o uso dos recursos naturais renováveis com a ampliação das fronteiras agrícolas.

Esta região comporta 50% do efetivo industrial madeireiro do Estado. O contingente industrial madeireiro se localiza principalmente nos municípios de Sinop e Alta Floresta. As espécies florestais de valor econômico da região são: *Vochysia sp* (cambará), *Aspidosperma populifolium* (peroba-mica), *Erismia uncinatum* (cedrinho) e *Hymenolobium sp* (angelim) consumidas pelas serrarias e *Schizolobium sp* (pinho cuiabano) pelas laminadoras. (BRASIL, 1975 e 1979); (IEL, 1999); (SIC/MT, 2000); (FERREIRA, 2001) e (FAMATO, 2004).

3.5 SECAGEM DA MADEIRA

3.5.1 Importância da Secagem

A madeira, proveniente de árvores recém-abatidas apresenta alto teor de umidade, que tende a reduzir-se espontânea e lentamente à medida que as toras aguardam o desdobramento inicial. Após o desdobro, a umidade continua a diminuir com maior ou menor rapidez em função da espécie vegetal, das condições ambientais, das dimensões das peças e do empilhamento utilizado (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

A perda de água reduz o peso da madeira, diminuindo o custo do seu transporte, mas, independente deste fator econômico, a transformação racional da madeira bruta em produtos de consumo requer a sua secagem prévia pelas seguintes razões:

- Reduz a movimentação dimensional a limites aceitáveis. Como consequência, as peças de madeira podem ser produzidas com maior precisão de dimensões, proporcionando melhor desempenho em serviço;
- Possibilita a aplicação de vernizes, tintas e outros materiais de acabamento sobre a madeira;
- Reduz os riscos ao ataque de fungos apodrecedores e manchadores;
- Possibilita a colagem de partes;
- Facilita impregnação da madeira com líquidos preservativos e anti-insetos;
- Aumenta a resistência mecânica.

Deve-se considerar que a secagem controlada, efetuada em estufas ou estufas, proporciona consideráveis benefícios adicionais, dentre os quais devem ser mencionados:

- O tempo secagem é reduzido, reduzindo os estoques e a necessidade de capital de giro;
- Permite reduzir a área destinada ao armazenamento da madeira;
- Permite ajustar o teor de umidade da madeira de acordo com as condições climáticas do local de uso, em qualquer época do ano;
- Possibilita obter teor de umidade mais baixo do que aqueles alcançados pela secagem ao ar;
- Minimiza os defeitos de secagem como rachaduras, empenamentos e encanoamentos, quando é utilizado um programa adequado;
- Destrói fungos e/ou insetos presentes na madeira.

3.5.2 Princípios da Secagem de Madeira Serrada

3.5.2.1 Aspectos físicos da secagem

Do ponto de vista físico, a secagem de madeiras pode ser definida como um balanço dinâmico entre a transferência de calor da corrente de ar para a madeira, a evaporação superficial na madeira, difusão de umidade através da madeira e o fluxo de massa da água capilar (HART, 1965).

A secagem de madeiras, basicamente se desenvolve em duas fases simultâneas. Na primeira, ocorre a remoção da água superficial, e na segunda, a movimentação da água do interior das peças para a superfície.

A transferência de calor e a evaporação superficial são controladas pelas condições externas e o movimento de umidade do interior até a superfície da madeira é controlada principalmente por propriedades da madeira como a permeabilidade e a massa específica (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

O calor transferido do meio secante (ar) para a superfície da madeira se dá na maioria dos casos por convecção. Após a superfície ser aquecida, o calor é transferido para o interior da madeira por condução. Com a transferência de calor do ambiente para a superfície da madeira é promovida a vaporização da água ali existente e que, no estado de vapor, é transferida para a corrente de ar. Altas velocidades de ar são mais importantes no início da secagem, pois aumenta a taxa de transferência de calor à superfície e a de massa ao meio secante (SANTOS, 2000).

3.5.2.2 Condução de líquidos na madeira

Segundo BURGER E RICHTER (1991) as substâncias retiradas do solo pelas raízes (água e sais minerais) ascendem na forma de seiva bruta pelas regiões externas do alburno. Ao atingir as partes do vegetal que possuem clorofila, são transformados pelo processo de fotossíntese em substâncias nutritivas, que descem pelas regiões internas da casca (floema), nutrindo a árvore.

A quantidade de água existente na madeira é conhecida como teor de umidade (TU), que é expressa em porcentagem com relação ao peso seco da peça. Dependendo da espécie, há madeiras que podem apresentar um teor de umidade maior que 200% (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985) e (SIMPSON, 1991).

3.5.2.3 Localização da água na madeira

Nas condições “in natura” os vasos e outros canais da madeira, incluindo lúmens das suas células apresentam-se praticamente saturados de água. Da mesma forma, os espaços vazios, localizados no interior das paredes celulares, também podem encontrar-se saturados, (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

3.5.2.4 Tipos de água na madeira

Segundo KOLLMANN e CÔTÉ, (1968) e MELO, (1999), as diferentes formas de ocorrência da água na madeira podem ser classificadas das seguintes maneiras:

- Água livre ou capilar encontra-se fundamentalmente preenchendo os grandes capilares ou macrocapilares constituídos pelos lumens celulares e pelos espaços intercelulares incluindo vasos e canais resiníferos. Este tipo de água está aderida à madeira por forças capilares;
- Água de impregnação ou higroscópica, adsorvida nos espaços submicroscópicos da parede celular principalmente pela celulose e hemicelulose, ligadas por forças elétricas polares.

3.5.2.5 Movimento da água na madeira

Para MORESCHI (1975), os fenômenos envolvidos na movimentação da água na madeira são de grande complexidade, devido principalmente a estrutura heterogênea da

madeira, e aos fenômenos físicos que controlam o fluxo de água líquida, do vapor d'água na estrutura aberta e da água fixada nas paredes celulares da madeira.

Segundo GALVÃO e JANKOWSKY (1985), para uma melhor compreensão dos fenômenos que atuam na secagem da madeira, regidos por várias forças que agem simultaneamente nesse processo, é conveniente considerar separadamente:

- O movimento da água capilar (acima do PSF);
- O movimento da água higroscópica (abaixo do PSF);
- O movimento do vapor de água.

TOMASELLI (1981), GALVÃO e JANKOWSKY (1985), salientam que dos diferentes fenômenos físicos envolvidos na movimentação da água na madeira durante seu processo de secagem, dois tipos predominam e estão ligados não podendo ocorrer uma separação, e sim apenas determinar qual dos dois movimentos predomina, sendo eles; movimento capilar (água livre) e movimento por difusão (vapor d'água).

· Movimento Capilar

GALVÃO e JANKOWSKY (1985) definem água capilar como a água encontrada na forma líquida, contida nas cavidades e nas aberturas conectando cavidades celulares na madeira em estado verde.

Na água capilar, as forças que a mantêm presa nos lúmens celulares são consideravelmente menores que as forças que mantêm a água na parede celular. Como consequência este tipo de água é a primeira a ser removida durante a secagem da madeira (SKAAR, 1972).

De acordo com KOLLMANN (1959) e MELO (1999), a remoção da água capilar reduz o peso da madeira, proporciona melhoras nas propriedades térmicas e elétricas, mas não tem nenhuma interferência quer nas dimensões das peças, ou nas suas propriedades mecânicas. Este tipo de água encontra-se a teores de umidade acima do Ponto de Saturação das Fibras (PSF).

O Ponto de Saturação das Fibras (PSF) é teor de umidade no qual a madeira tem somente água de impregnação tendo sido retirada toda água capilar. Para MARTINS (1988), a madeira atinge o PSF quando seu teor de umidade encontra-se entre 22% e 32% (ou mais), variando este valor entre as espécies. Vários autores entre eles MARTINS (1988) e WALKER (1993), consideram para efeito prático, que seja adotado 30% o PSF para todas as espécies.

A importância do PSF está relacionada às mudanças que ocorrem na madeira a partir deste ponto, e esta intimamente relacionada a retirada da água de impregnação, pois a saída desta provoca alterações estruturais na resistência mecânica (flexão, dureza e compressão), nas propriedades físicas e variações dimensionais. Estas alterações ocorrem quando a estrutura da parede celular é afetada pela diminuição do teor de umidade após a retirada da água presente em seu espaço submicroscópico, (KOLLMANN; COTÊ, 1968), (TOMASELLI, 1974) e (CECH; PFAFF, 1977).

O movimento de líquidos acima do PSF num tubo capilar é produzido pelas diferenças existentes em tensão, devido forças superficiais nos meniscos dentro dos capilares. A força de tensão T em um menisco balanceado dentro de um capilar com raio r , segue a lei de POISEUILLE, que é representada pela Equação 1 (KOLLMANN e COTÊ, 1968).

$$TC = H * d = \frac{2\beta}{d * r} d = \frac{2\beta}{r} \quad \text{Equação (01)}$$

Onde:

T = tensão capilar (g/cm^2);

H = altura de ascensão do líquido no capilar (cm);

D = densidade do líquido (g/cm^3);

r = raio do capilar (cm);

σ = tensão superficial do líquido (g/cm^2).

· Movimento por Difusão

Segundo GALVÃO e JANKOWSKY (1985), a água higroscópica move-se por difusão através das paredes celulares, em consequência de forças originadas pelo gradiente de umidade.

Para MARTINS (1988), os movimentos da umidade por difusão, resultam de diferenças na umidade relativa (pressão de vapor) resultante de diferenças no teor de umidade entre a superfície e o interior da madeira, ou entre duas zonas quaisquer da madeira onde ocorram essas diferenças.

No decorrer do processo de secagem existe uma fase onde a quantidade de água capilar transferida para a superfície, é menor que a quantidade de água que se evapora da superfície. Nestas condições, o teor de umidade superficial diminui e fica estabelecido um gradiente de umidade que gera forças que movem a água (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985).

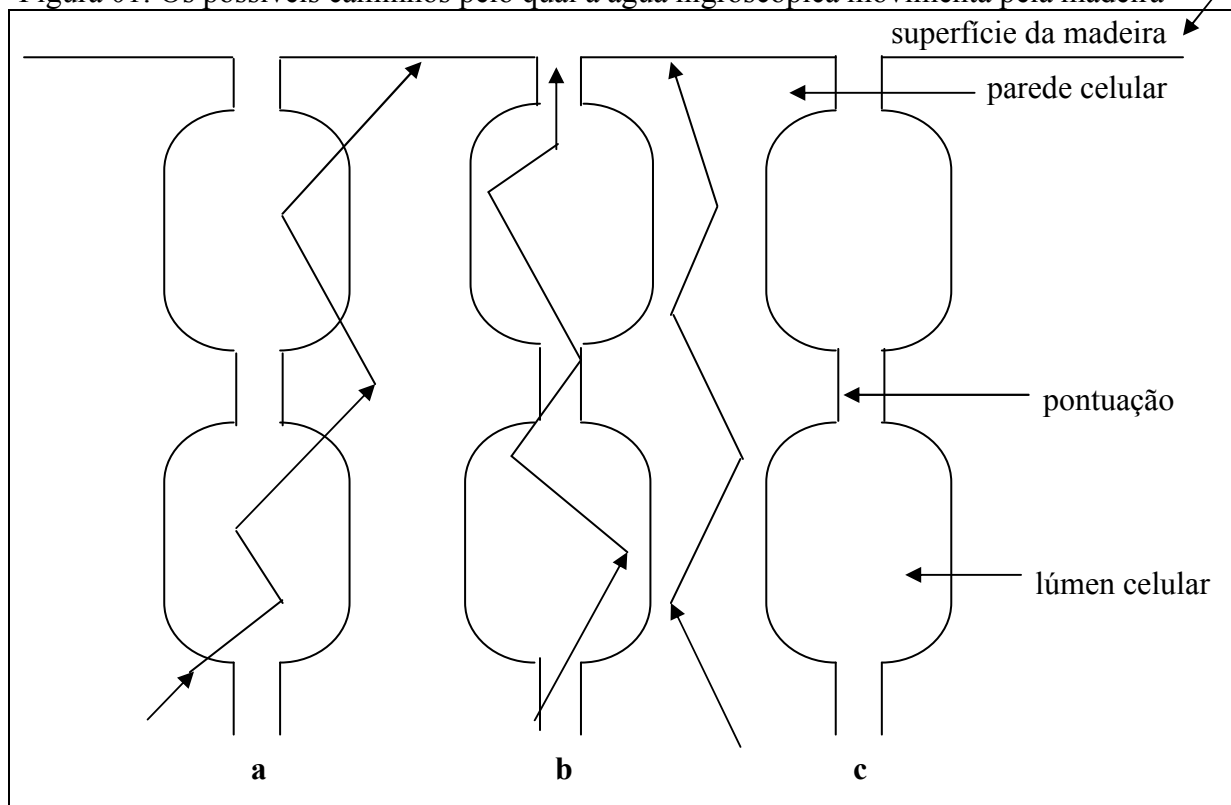
Os mecanismos envolvidos na movimentação por difusão da água higroscópica e do vapor d'água ocorrem simultaneamente e de maneira espontânea (OLIVEIRA, 1981).

De acordo com BRAMHAL e WELLWOOD (1976), OLIVEIRA (1981) e SIMPSON (1991), existem três possíveis combinações dos mecanismos da difusão da água através da madeira.

- Difusão combinada de água higroscópica e vapor d'água (lúmen e parede celular);
- Difusão de vapor (lúmen);
- Difusão da água higroscópica (parede celular).

Esses mesmos autores salientam que a maior parte da difusão de água ocorre através da combinação de água higroscópica e vapor d'água, isto é, a umidade escoa através do lúmen celular na forma de vapor d'água, condensa e movimenta-se através da parede celular até atingir a superfície da madeira. Estes caminhos são ilustrados na Figura 01.

Figura 01: Os possíveis caminhos pelo qual a água higroscópica movimenta pela madeira



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 1981.

Se o movimento da água e o gradiente de concentração forem constantes no tempo e no espaço, a quantidade de umidade a ser removida da madeira será governada pela primeira lei de Fick, expressa na Equação 2 abaixo (SIAU, 1984).

$$Kd = \frac{m/t * A}{\Delta U} \quad \text{ou} \quad Kd = \frac{m * L}{t * A * \Delta U} \quad \text{Equação (02)}$$

Onde:

kd = Coeficiente de condutibilidade para difusão do vapor d'água através da madeira, g/cm/seg;

m = Massa do vapor d'água transportada através do corpo-de-prova, g;

L = Comprimento do corpo-de-prova na direção do fluxo, cm;

t = tempo do fluxo, seg.;

ΔU = Diferença de umidade entre as superfícies paralelas separadas pela distância L , expressa em %;

A = Área transversal do corpo-de-prova perpendicular à direção do fluxo, cm^2 .

Como o fluxo por difusão na madeira é predominantemente variável no tempo e no espaço, quando a madeira é seca. A segunda lei de Fick é a equação que melhor representa este fenômeno, e é representada pela Equação 3.

$$\frac{dm}{dt} = Dg * \frac{d^2 M}{dx^2} \quad \text{Equação (03)}$$

Onde:

dm/dt = quantidade de umidade removida (m) na unidade de tempo (t);

Dg = coeficiente de difusão médio, cm^2/seg ;

$\frac{d^2 M}{dx^2}$ = variação da umidade na distância (x).

3.5.3 Fatores que influenciam na velocidade de secagem da madeira

3.5.3.1 Fatores intrínsecos à madeira

- Massa específica

Uma madeira com baixa massa específica tem grandes espaços ocupados por cavidades celulares, e como resultado seca mais rápido do que madeiras com alta massa específica e pequeno volume de espaços. O coeficiente de difusão é maior em madeiras de baixa massa específica uma vez que é o pequeno volume de parede celular através da qual a água deve mover-se, e a água passa rapidamente na forma de vapor (BROWN *et al.* 1952). HART (1966) cita que o tempo de secagem normalmente é diretamente proporcional a massa específica quando da evaporação da umidade superficial, é diretamente proporcional ao quadrado da mesma no caso de difusão da umidade para a superfície da madeira.

- Estrutura anatômica

O movimento de água no interior da madeira ocorre em diferentes direções. KOLLMANN & CÔTÉ (1968) citam que o fluxo de umidade na direção longitudinal, em madeiras com massa específica média, sob gradiente de pressão de vapor normais, temperaturas superiores à 50° e no limite higroscópico, é de 5 a 8 vezes maior do que na direção transversal. Abaixo do PSF este valor aumenta, podendo o fluxo longitudinal ser de 10 a 15 vezes maior (RASMUSSEN, 1961).

No sentido radial, para temperaturas comuns de secagem, a velocidade de secagem é aproximadamente 20 a 50% maior do que no sentido tangencial (KOLLMANN & CÔTÉ, 1959). Os mesmos autores atribuem este fato dos raios lenhosos, e afirmam que em folhosas com grande proporção de células radiais, a difusão neste sentido pode ser até mais do que o dobro da tangencial. Porém deve-se considerar, que dependendo da massa específica, as células de raio contribuem com apenas 2% dos espaços disponíveis para o fluxo de água na madeira, o que é praticamente insignificante.

- Teor de umidade

Para um mesmo tipo de madeira, em regra geral, quanto maior a diferença entre o teor de umidade inicial e o final, maior será o tempo necessário para sua secagem. HART (1966) afirma que o tempo total de secagem aumenta com o aumento do teor de umidade inicial tanto

para madeiras altamente permeáveis, onde ocorre fluxo de massa e a remoção da umidade superficial é o fator limitante, como para madeiras altamente impermeáveis em que a difusão é o fator controlador. Verificou-se que na secagem de suas peças de madeira com teor de umidade inicial diferente, o tempo de secagem é diferente até o PSF, porém quando o centro das peças atinge este ponto, ambas necessitam o mesmo tempo adicional para secar.

- Espessura da madeira

O tempo de secagem é inversamente proporcional a espessura da madeira. Uma aproximação teórica sugere que o tempo, sob condições de secagem semelhantes, é uma fusão de espessura ao quadrado, sendo que o efeito da espessura é levemente menor no caso de secagem em estufa. Deste modo, o tempo de uma peça de 50 mm é 3 a 4 vezes maior do que uma peça de 25mm (McMILLEN & WENGERT, 1978).

HART (1966) confirma que considerando o fluxo de massa, o tempo necessário para uma certa redução no teor de umidade é diretamente proporcional a espessura da madeira. Com relação a difusão do interior para a superfície, o tempo de secagem é diretamente proporcional ao quadrado da espessura.

3.5.3.2 Fatores intrínsecos ao ambiente

- Temperatura

Com o aumento temperatura, mais rápida é a evaporação e, conseqüentemente a taxa de secagem é mais elevada. Entretanto, deve-se considerar que nem todas as madeiras suportam temperaturas elevadas. Madeiras de folhosas, por exemplo, espessas e refratárias, quando submetidas a altas temperaturas de secagem resultam defeituosas. Nesses casos, por ocasião da elaboração do programa de secagem, recomenda-se o uso de temperaturas moderadas no início que poderá ser aumentada posteriormente. Caso a temperatura se mantenha constante durante o processo de secagem, a taxa de evaporação diminui a medida que o teor de umidade da madeira diminui. Por esta razão, para manter uma taxa de secagem constante é necessário aumentar a temperatura ou reduzir a pressão de vapor do ambiente de secagem (CECH & PFAFF, 1977).

- Umidade relativa do ar

Com o aumento da temperatura a umidade relativa do ar diminui (HILDBRAND, 1964). A umidade relativa do ar e a temperatura estabelecem o equilíbrio higroscópico que é de grande importância para a secagem da madeira, uma vez que através dele pode-se controlar e regular o processo de secagem (HILDBRAND, 1964).

Aumentando a temperatura do ar numa estufa de secagem, a umidade de equilíbrio é reduzida, obtendo-se com isso uma redução mais rápida no teor de umidade da madeira. Para controlar a umidade relativa do ar durante um processo de secagem é preciso haver uma troca de ar úmido do interior dos estufas, resultante da evaporação da água da madeira seja substituído por ar externo (HILDEBRAND, 1964).

- Velocidade do ar

O fluxo de ar através da pilha de madeira tem duas funções básicas: transferir o calor produzido pelo sistema de aquecimento para a superfície da madeira e transportar a massa de vapor d'água desta superfície para a atmosfera (HILDEBRAND, 1970).

O efeito da circulação do ar na taxa de transferência de calor é mais pronunciado acima do PSF e diminui progressivamente a medida que o teor de umidade da madeira decresce abaixo deste ponto. De acordo com FRICKE (1968), o uso de altas velocidades de ar é vantajoso para madeiras finas, com elevado teor de umidade inicial e de fácil secagem, pilhas largas, e quanto se deseja uniformidade de secagem. Em contrapartida, baixas velocidades são mais adequadas para madeiras espessas, parcialmente secas e pilhas estreitas. O aumento da velocidade do ar reduz o gradiente de temperatura no interior das pilhas de madeira, resultando numa secagem mais rápida e homogênea.

Outra consequência, é que mais calor será adicionado ao sistema devido a rapidez de troca térmica o que tende a diminuir o gradiente de temperatura através da pilha, aumentando a taxa de secagem (FRICKE, 1968). De uma maneira geral, quanto maior a velocidade do ar na pilha de madeira, menor é o tempo de secagem. Porém, quando da escolha da velocidade do ar deve-se considerar também outros fatores envolvidos no processo de secagem.

- Umidade de equilíbrio higroscópico da madeira

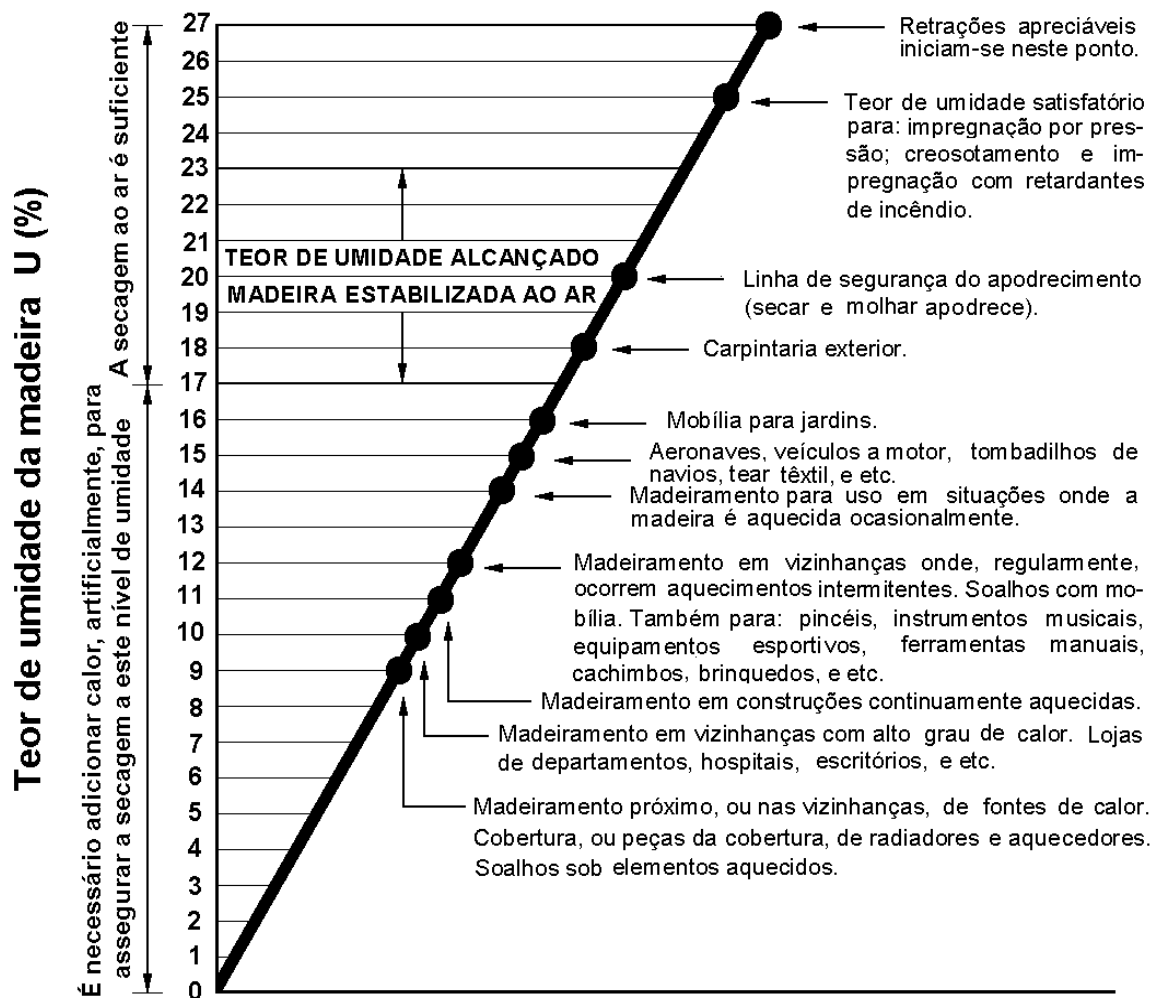
Segundo PONCE & WATAI (1985) a madeira é um material higroscópico, isto é, possui habilidade de ganhar ou ceder umidade em forma de vapor sob influência das

condições da atmosfera envolvente a que se encontra exposta. Quando úmida, geralmente perde vapor d'água para a atmosfera e quando seca, pode absorver vapor d'água do ambiente que a rodeia, por consequência devida esta capacidade higroscópica ela irá retrair ou expandir.

A madeira quando exposta às flutuações das características do ar está constantemente sujeita a perder ou a ganhar moléculas de água, a menos que se encontre numa atmosfera cujos valores de temperatura e umidade relativa permaneçam constantes. Nesta situação a madeira não perde e nem absorve moléculas de água do ar, isto ocorre quando a umidade da madeira está em equilíbrio com a umidade relativa do ar (UR) e a temperatura (°C), denominando-se Umidade de Equilíbrio Higroscópico da Madeira (MELO, 1999).

DINWOODIE (1981) apresenta a Figura 02, na qual se observa que a secagem ao ar permite o equilíbrio da madeira a um teor de umidade de aproximadamente 17%, desejando uma umidade de equilíbrio menor é necessário o uso de estufa. A direita, na figura 02, é apresentada os teores para a umidade de equilíbrio em diversas situações de uso da madeira.

Figura 02: Teor de umidade de equilíbrio da madeira em vários ambientes DINWOODIE (1981).



Obs.: A figura varia um pouco com a espécie e o diagrama mostra apenas valores médios.

Fisicamente a umidade de equilíbrio ocorre quando a pressão interna de vapor d'água na parede celular da madeira for igual a pressão externa de vapor d'água . A umidade de equilíbrio da madeira é afetada pela umidade relativa do ambiente e pela temperatura.

· Potencial de secagem (PS)

No processo de secagem artificial de madeira serrada existem dois valores que são de grande importância para estabelecer o comportamento da secagem. Estes valores são o teor de umidade atual da madeira em um determinado momento e conteúdo de umidade de equilíbrio o qual a madeira de acordo com as condições de temperatura e umidade relativa fixadas dentro da estufa. A relação entre os dois valores se denomina potencial de secagem. O potencial de secagem irá determinar a forma e o progresso da secagem da madeira. Ele pode ser calculado da seguinte forma:

$$PS = \frac{TU_{atual}}{UE_{ambiente}} \quad \text{Equação (04)}$$

Onde:

PS = Potencial de secagem;

TU_{atual} = Teor de umidade atual (%);

UE = Umidade de equilíbrio do ambiente (%).

Potenciais de secagem elevados podem produzir uma secagem excessiva nas superficiais da madeira contribuindo para a formação de tensões internas, gretas, deformações e um endurecimento superficial. Um valor adequado para o potencial depende de vários fatores como: espécie, espessura da madeira, TU inicial, tipo de estufa, e outros fatores (TOMASELLI e KLITZKE, 2000).

3.5.4 Secagem de madeira

Segundo SIMPSON (1991) a madeira pelas suas características intrínsecas que a torna diferente de outros materiais, pode ser seca através de diferentes métodos. A secagem pode ser natural (ao ar livre) ou artificial com a utilização de estufas que possibilitam o controle da circulação do ar, da temperatura, e da umidade relativa, reduzindo o tempo de secagem, minimizando defeitos de secagem, e permitindo obter teores de umidades pré-estabelecidos. A opção pelos métodos disponíveis irá depender de uma série de fatores como, espécie a ser seca, dimensões das peças, tempo disponível, infraestrutura, fatores econômicos e outros.

3.5.4.1 Secagem em estufa convencional

É o método de secagem da madeira que permite maior flexibilidade no controle das principais variáveis envolvidas nesse processo como a circulação do ar, a temperatura e a umidade relativa.

Este é o método de secagem em que a madeira é seca numa estufa, que opera com temperaturas variando entre 40 e 100°C (MARTINS, 1988).

CECH e PFAFF (1977), citados por SANTINI (1996), mencionam que perdas de calor e deficiências na sua transferência, geralmente limitam a temperatura máxima a valores entre 80 e 90°C.

Para TOMASELLI (1974), As estufas convencionais de alvenaria ou metálicas pré-fabricados com capacidade de secagem entre 20 e 40 m³ e ocasionalmente podendo chegar a 100m³ de madeira serrada, eram na época os mais encontrados em funcionamento no Brasil.

Segundo SANTINI (1996), o funcionamento da estufa considera a circulação do ar promovida por um conjunto de ventiladores reversíveis que impulsionam esse ar, e que após se aquecer ao passar pelos trocadores de calor, é orientado para atravessar as pilhas de madeira transferindo calor para a madeira e a umidade de superfície das peças para o ambiente.

Em estufas convencionais o ar circula a uma velocidade entre 2 e 3 m/s, e o número de ventiladores deve ser suficiente para possibilitar uma distribuição uniforme do mesmo. Embora o vapor produzido por caldeiras seja a fonte de calor mais comum nas estufas convencionais, sistemas de aquecimento elétricos e trocadores de calor com água quente, também podem ser utilizados.

A umidificação do ar é obtida pela liberação de vapor de baixa pressão ou por válvulas de aspersão de água fria ou quente no interior da estufa, e por um sistema de renovação do ar.

A secagem convencional apresenta vantagens sobre a secagem ao ar, dentre as quais a principal é a redução no tempo de secagem. Isto se deve as condições dentro da estufa, que são controladas.

As principais restrições da secagem convencional estão ligadas ao investimento inicial e à necessidade de mão de obra especializada. Os investimentos não são somente aqueles diretamente relacionados à compra da estufa, pois um setor de secagem convencional necessita ainda de caldeiras, instalações hidráulicas, elétricas, rede de vapor, barracões e outros, que em seu conjunto acabam elevando o custo e restringindo a implantação do sistema (STCP, 1990).

A estufa para secagem de madeira é um equipamento projetado para a secagem de madeira serrada, com um sistema de aquecimento para operar com temperaturas entre 40⁰C e 100⁰C, um sistema de ventilação para forçar o fluxo de ar através da pilha de madeira, um sistema de umidificação do ar e janelas que permitam a exaustão do ar saturado e admissão de ar externo (não saturado).

Para JANKOWSKY (2000) as principais características de uma estufa que irão afetar sua eficiência são materiais de construção, a circulação do ar, a potência térmica e a capacidade da troca de ar.

- Material de construção: o tipo de material usado na construção da estufa irá determinar a durabilidade do equipamento e o isolamento térmico. O ambiente de secagem é bastante agressivo, pois o ar está aquecido, úmido e pode conter extrativos retirados da madeira, o que aumenta a incidência da corrosão;
- Circulação do ar: tão importante quanto a velocidade de circulação do ar é a distribuição do fluxo de ar através das pilhas de madeira. Considera-se que velocidades do ar entre 2m/s e 3m/s são adequadas para a maioria das espécies de madeira (HILDEBRAND,1970), contudo madeiras permeáveis ou com elevado teor de umidade inicial podem requerer velocidades acima de 4m/s para uma secagem rápida;
- Potência térmica: a potência térmica refere-se à capacidade de liberação de energia nos trocadores do vapor dentro dos radiadores, disponibilidade de vapor a pressão constante, adequação dos purgadores e da velocidade de circulação do ar;
- Capacidade de troca de ar: na maioria das estufas a umidade da madeira é transferida para a corrente de ar, tornando necessária a exaustão do ar saturado. A capacidade para troca de ar depende da área total das janelas, do posicionamento em relação aos ventiladores e da velocidade do ar. Se a troca for deficiente, a umidade relativa do ar dentro da estufa será superior a desejada, retardando a secagem.

3.5.4.2 Programação de secagem

A expressão programa de secagem (ou carta de processo) esta relacionada principalmente com a secagem da madeira em estufa convencional, e para que a secagem seja conduzida de forma adequada, a escolha do programa é fator determinante (OLIVEIRA, 1981 e ANDRADE, 2000).

Para MENDES (1996), um programa de secagem consiste num roteiro contendo informações de quando e como as condições de secagem como temperatura e umidade relativa (TBS – termômetro de bulbo seco e TBU – termômetro de bulbo úmido), devem ser alteradas no interior da estufa. As modificações nas condições de secagem contidas num programa de secagem estão em geral em função do teor de umidade da madeira (TU) indicado pelas amostras de controle.

Segundo OLIVEIRA (1981) e MARTINS (1988), os programas de secagem variam para cada espécie em função da massa específica (permeabilidade, contração, etc.), do teor de umidade inicial e final, da espessura do material, do uso a que se destina e do tipo de equipamento empregado.

JANKOWSKY (1995) cita que os programas de secagem podem ser classificados em dois tipos:

- Programas baseados na umidade da madeira, em que valores de temperatura e umidade relativa no interior da estufa de secagem são regulados em função do teor de umidade da madeira. Nessa categoria estão incluídos os tradicionais programas umidade-temperatura, desenvolvidos pelo Laboratório de Produtos Florestais em Madison (SIMPSON, 1991);
- Programas baseados no tempo de secagem em que as condições da estufa são ajustadas em função do tempo de processo. Os programas baseados no tempo de secagem geralmente são desenvolvidos a partir de experiências acumulada com o uso dos programas baseados na umidade da madeira (WENGERT, 1994).

Dentre os programas acima mencionados, o mais empregado na secagem convencional é o baseado na umidade-temperatura (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985).

Para RASMUSSEN (1968) nos programa de secagem deve-se reconhecer as três fases distintas envolvidas no processo, aquecimento, secagem, uniformização e/ou acondicionamento.

- Fase de aquecimento

Como o próprio nome indica, é o tempo necessário para aquecer a carga de madeira até à temperatura de secagem recomendada pelo programa. O aquecimento prevê uma fase inicial de aquecimento da superfície sem aquecimento interno, trabalhando com umidade relativa elevada (acima de 85%). Evita-se desta forma as rachaduras e outros defeitos como o

colapso e fendas internas. Do ponto de vista prático, a diferença entre TBS e TBU na fase de aquecimento, não deve ultrapassar 2°C (MENDES, 1996).

- Fase de secagem

No decorrer desta fase é que a umidade da madeira é retirada. Inicialmente, a água capilar é removida, mantendo-se baixas temperaturas variando entre 40 e 60°C e elevado teor de umidade relativa, assim evitando o surgimento de defeitos na madeira. Na realidade a temperatura e a umidade relativa inicial esta em função da espécie a ser seca e outras condições. Durante a remoção da água capilar a temperatura inicial poderá ser mantida. Os valores máximos estão em função da espécie e da espessura do material, temperaturas baixas devem ser utilizadas quando o material apresentar maiores espessuras. Como regra geral após a retirada da água capilar, eleva-se à temperatura e reduz-se a umidade relativa simultaneamente para que a água higroscópica seja retida. O período de tempo a ser despendido com a remoção da água higroscópica irá variar com a densidade das espécies, espessura das peças, temperatura utilizada e gradiente de umidade (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

- Fase de uniformização e/ou acondicionamento

O procedimento de uniformização visa igualizar o teor de umidade (TU) entre as peças da carga, diminuindo a diferença entre elas, ao final do processo de secagem. A uniformização tem início quando a amostra-teste mais seca atinge o TU mínimo estipulado no plano de secagem. A uniformização termina quando a amostra-teste mais úmida atingir o TU médio também estipulado no plano de secagem.

O acondicionamento tem por objetivo eliminar as tensões internas na madeira, procurando uniformizar o TU em cada peça e entre as peças da carga. Como a madeira seca de fora para dentro, observa-se no final da secagem uma diferença de umidade entre o centro e a superfície da peça (gradiente de umidade). Esta diferença gera tensões internas na peça, também conhecidas como endurecimento ou endurecimento superficial (MENDES, 1996). Podendo causar deformações permanentes quando as tensões excedem o limite de proporcionalidade (fixação).

3.5.4.3 Controle das condições de secagem

As condições internas ideais de uma estufa, que propiciam uma taxa de secagem máxima com uma degradação mínima da madeira, são obtidas através de ajustes da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar (VERMAAS, 1985). Uma quarta variável, que afeta diretamente as anteriores quando da elaboração dos programas de secagem, é a umidade da madeira. A maioria das estufas é controlada através de equipamentos automáticos, algumas vezes em equipamentos mais simples é usado o controle manual.

- Sistema de Controle Manual

O controle manual da secagem geralmente é empregado em operações pequenas, que usam muitas vezes equipamentos projetados de forma caseira, em que uma pessoa monitora a estufa quase em tempo integral.

Para um controle bem sucedido das condições de secagem, as temperaturas de bulbo seco e úmido precisam ser conhecidas. Se essas temperaturas diferem daquelas desejadas, as válvulas que regulam o fluxo de vapor (aquecimento) e vaporização (umidade relativa do ar) dentro da estufa precisam ser ajustadas até que as leituras de temperaturas requeridas sejam alcançadas. As janelas de ventilação também precisam ser monitoradas e ajustadas. Para manter a temperatura ou a umidade relativa próximas dos valores desejados, é requerido do operador um tempo considerável para a realização de pequenos ajustes nas válvulas.

Os aparelhos comumente usados para medição de temperatura durante o controle manual são de duas classes: os indicadores e os registradores. Termômetros indicadores de haste de vidro são freqüentemente usados. Termômetros indicadores digitais têm substituído largamente o tipo mola de pressão, sendo que o sensor dos mesmos pode ser termopar ou um RTD.

Termômetros digitais com capacidade para ser acoplado a uma impressora, também são disponíveis quando registros escritos da temperatura são desejados durante certo período de tempo.

A presença constante do operador da estufa é necessária para abrir e fechar os registros de passagem de vapor e as janelas de ventilação, de acordo com o programa de secagem preestabelecido. Um sistema controlado manualmente depende, basicamente, da experiência do operador da estufa (HOLMES & ARGANBRIGHT, 1976).

· Sistema de Controle Automatizado

Nos sistemas automatizados, as informações do controle do processo são introduzidas no início da operação de secagem, e qualquer alteração posterior, é feita automaticamente pelo equipamento durante o funcionamento da estufa. Estas mudanças podem também incluir determinação do teor de umidade final desejado, e o desligamento da estufa. O cancelamento das mudanças é possível com esse sistema, mas raramente é usado. Este procedimento difere do controle semiautomático, em que o controlador registrador mantém efetivamente as condições pré-ajustadas, mas não mudam os pontos de ajustes, os quais precisam ser modificados pelo operador.

Sistemas automatizados, para medir o teor de umidade da madeira, variam desde controladores que operam com monitoramento contínuo, passando por controladores baseados em células de carga, que pesam a carga ou parte dela, até os controladores computadorizados recentemente introduzidos.

Controladores tipo monitoramento contínuo representam o meio mais fácil de controle automático. Muito usado nos programas temperatura-tempo, eles se baseiam na hipótese que, para uma determinada espécie, espessura e classe de madeira, teor de umidade da carga, e em consequência, as condições na estufa, dependerão do tempo de secagem decorrido. Este equipamento de controle de secagem é constituído de dois discos de metal pré-cortados, um representando a configuração da temperatura do bulbo seco com o tempo, e o outro a temperatura do bulbo úmido com o tempo (MACKAY & OLIVEIRA, 1989). Diferentes discos excêntricos têm que ser cortados em função da espécie e espessura da madeira.

A partir da metade da década de 80, foram introduzidos os controles computadorizados. Sistemas de controles computadorizados podem variar desde aqueles que são pouco mais que sistemas contínuos de monitoramento baseado no tempo, até aqueles que medem o teor de umidade da madeira em certas faixas, e o deduzem em outras.

KUUN & VERMAAS (1988) afirmam, que para uma secagem bem sucedida, os parâmetros básicos a serem controlados são as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, a umidade relativa do ar e a umidade da madeira. Alguns sistemas não apenas monitoram e controlam rigorosamente as condições de temperatura e umidade na estufa, mas também fazem alterações nas velocidades do ventilador e monitoram ou controlam o consumo de energia (KARAVAEVA et al., 1987).

As temperaturas fornecidas pelos termômetros de bulbo seco e úmido são duas variáveis mensuráveis necessárias para controlar o processo de secagem em estufa. Os valores

obtidos no termômetro de bulbo seco, que indicam a temperatura do ar, e no termômetro de bulbo úmido, permitem calcular a umidade relativa do ambiente (VERMAAS, 1985 e HILDEBRAND, 1970).

3.5.5 Defeitos de secagem

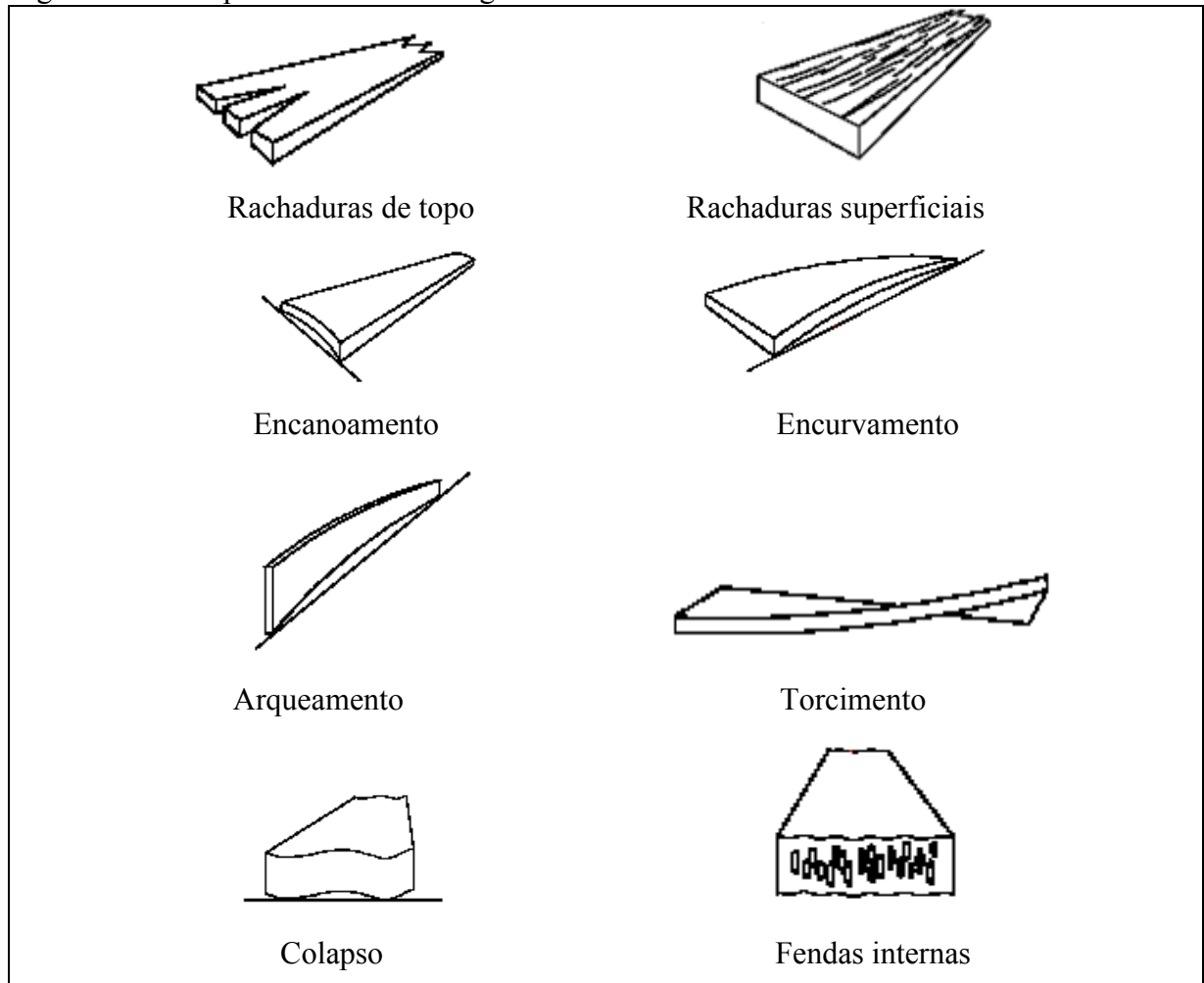
Segundo RASMUSSEN (1961), a maioria dos defeitos ou problemas que desenvolvem nos produtos da madeira durante e depois da secagem, podem ser classificados em uma das seguintes categorias: ruptura do tecido da madeira, empenamentos, teor de umidade desigual e descoloração. Em qualquer um dos defeitos destas categorias, a causa é pela interação das propriedades da madeira com fatores de processamento. A contração da madeira é a responsável principalmente por rupturas e distorções da forma. Estrutura celular e extrativos químicos na madeira contribuem para defeitos associados com o teor de umidade desigual, cor indesejável e superfície com textura diferente. A temperatura de secagem é o mais importante fator do processamento, porque pode ser responsável por defeitos em cada categoria.

Para HILDEBRAND (1970), a degradação de secagem pode ser descrita como a diminuição na qualidade da madeira que desenvolve durante o processo de secagem e reduz seu valor em um maior ou menor grau. Por outro lado, o processo de secagem resulta em uma melhora considerável na qualidade da madeira úmida. O mesmo autor salienta que as causas da degradação da secagem dependem das propriedades intrínsecas da madeira. A remoção da água de impregnação da madeira leva a contrações consideráveis, provocando a anisotropia, isto é, a contração varia na direção axial (radial, tangencial e paralela à grã). A contração acima de limites da resistência elástico-plástico da madeira leva a degradação da secagem. Além disso, a permeabilidade limitada da madeira a passagem de água líquida e vapor resultam em maior ou menor gradiente de umidade nas tábuas. Por último a madeira é um material orgânico com a natureza química complexa da qual pode levar a descoloração, a exudação de resinas e outros defeitos.

A ocorrência de defeitos na madeira durante o processo de secagem convencional resulta de particularidades estruturais da madeira ou da deficiência do processo de secagem.

Dentre os vários defeitos gerados durante a secagem, os mais importantes são o colapso, as rachaduras, os empenamentos e o endurecimento superficial como demonstrados na Figura 3.

Figura 03: Principais defeitos de secagem da madeira.



Fonte: Adaptado de MENDES *et al.*, 1998.

· Colapso

O colapso é causado por tensões produzidas por forças capilares exercidas pela água livre existente no interior dos lúmens celulares da madeira. Portanto o colapso só ocorre quando a madeira estiver com seu teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras (PSF). Este é o único defeito decorrente da secagem que ocorre acima do PSF (KOLLMANN; COTÊ, 1968; GALVÃO e JANKOWSKY, 1985).

Para MELO (1999), o colapso da madeira consiste numa retração excessiva e irregular do lenho, caracterizada não apenas por uma deformação anormal das peças serradas, as quais apresentam superfícies mais ou menos enrugadas, e seção transversal com maior espessura nas extremidades do que no centro. Mas, sobretudo, por uma pronunciada alteração das células lenhosas que em vez de apresentarem contorno poligonal, surgem como que esmagadas.

MELO (1999) salienta ainda que um dos principais fatores limitantes na secagem de madeira susceptíveis ao colapso é frequentemente o problema da remoção da água capilar.

De acordo com OLIVEIRA (1981), para que o colapso se desenvolva, é preciso que uma grande quantidade de células da madeira esteja completamente saturada com água, não havendo espaço para o ar, e que a referida madeira apresente baixa permeabilidade.

Sempre que se tratar com madeiras susceptíveis ao colapso, recomenda-se utilizar temperaturas de secagem moderadas, não devendo ultrapassar 50°C pelo menos até que se atinja o PSF (STCP, 1990).

Os fatores que podem desencadear a formação de colapso na madeira durante a secagem, segundo GALVÃO e JANKOWSKY (1985) e MELO (1999) são os seguintes:

- Pequeno diâmetro dos capilares que proporcionam altas tensões capilares na seiva;
- Alta tensão superficial do líquido a remover da madeira;
- Baixa densidade da madeira que está relacionada com as paredes celulares mais delgadas, as quais tem baixa resistência a compressão;
- Alta temperatura que faz aumentar a plasticidade da parede celular e, portanto, diminui a respectiva resistência, tornando a madeira mais susceptível ao colapso.
- Rachaduras

De acordo com GALVÃO e JANKOWSKY (1985) e MELO (1999), as rachaduras resultam de tensões internas no lenho em consequência da diferença de retração nas direções radial e tangencial da madeira. As rachaduras aparecem no decurso da operação de secagem sempre que existir um elevado gradiente de umidade entre a parte central e a zona periférica da madeira. Esse gradiente de umidade leva ao aparecimento de tensões que tornam superiores a resistência dos tecidos lenhosos, provocando a ruptura da madeira.

A localização das rachaduras é basicamente no topo e na superfície das peças de madeira, cuja incidência verifica-se principalmente durante as primeiras fases da secagem. Posteriormente, podem surgir as rachaduras internas ou favos de mel, que só podem ser vistas no interior das peças mediante o seccionamento transversal das mesmas (SANTOS, 2002).

No decorrer da secagem podem surgir outras três formas de rachaduras, sendo elas: rachaduras superficiais, rachaduras de topo e rachaduras internas ou em favos de mel.

- Rachaduras superficiais

As rachaduras superficiais geralmente ocorrem no período inicial da secagem, principalmente quando a umidade relativa do ar atingir valores inferiores a 50%. Nos primeiros estágios da secagem, as camadas superficiais secam mais rapidamente atingindo valores inferiores ao PSF, enquanto que as camadas internas ainda apresentam teores de umidades acima de 30%. Como consequência, as camadas superficiais tendem a se retrair, porém esta retração está limitada pela parte interna que mantém teores de umidades acima do PSF. Nesse momento, células da superfície estão sujeitas a tensão de tração, enquanto que no interior das peças está ocorrendo a tensão de compressão (OLIVEIRA, 1981) e (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985).

- Rachaduras de topo

Rachaduras de topo são defeitos de secagem que surgem nas extremidades das peças devido à rápida perda de umidade dessas regiões em relação ao restante da peça. Esta secagem rápida é acelerada pela circulação do ar nessas partes. Sendo assim, as tensões de contração estão mais próximas ao topo do que no restante da peça, as quais se manifestam através das rachaduras de topo (MARTINS, 1988).

- Rachaduras internas ou em favos de mel

O surgimento deste defeito está relacionado principalmente com a secagem artificial, podendo resultar de rachaduras superficiais que se fecharam ou de rupturas por tração no interior da peça. Exteriormente a peça pode apresentar-se sem alterações. Este defeito normalmente está associado ao colapso e ao encruamento, como consequência das tensões de tração no interior da peça. Para evitar o surgimento das rachaduras internas, recomenda-se que a retirada da água capilar se faça com temperaturas suaves (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985; PONCE e WATAI, 1985).

- Empenamentos

Empenamentos são deformações que ocorrem na madeira normalmente devido às retrações, caracterizando como uma distorção da peça da madeira em relação ao seu plano original. Nestas condições os empenos são em grande maioria, em função do teor de umidade da madeira (OLIVEIRA, 1981) e (MELO, 1999).

As principais causas para o surgimento destas deformações são : características estruturais da madeira (grã espiralada, diferenças das contrações existentes entre anéis de crescimento, lenho juvenil e lenho adulto, entre lenho inicial e tardio, entre cerne e alborno, desvio na orientação das fibras, presença de lenho de reação); imperfeições técnicas quer na serragem quer nas operações de secagem; ações mecânicas prolongadas (OLIVEIRA, 1981; (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985;MELO, 1999).

Segundo GOMIDE (1973); GALVÃO e JANKOWSKY, (1985) e MARTINS (1988), entre outros, existem cinco formas comuns da ocorrência de empenamentos:

- Encanoamento

As margens da peça permanecem aproximadamente paralelas, ela adquire um aspecto encanoado ou de canaleta. O encanoamento pode ser gerado em decorrência da secagem mais rápida de uma face ou quando uma face se contrai mais que a outra, mesmo com secagem uniforme, em razão do plano em que foi feito o corte da peça de madeira (radial e tangencial);

- Torcimento

Os fatores responsáveis pelo surgimento do empenamento torcido, podem ter ligação com os mesmos fatores que causam os empenamentos, podendo ser gerado também pela combinação de diferentes contrações e desvio da grã (espiralada, diagonal, intercruzada, ondulada);

- Arqueamento

Causado pela diferença na contração longitudinal entre laterais da mesma peça da madeira. Neste tipo de empeno, a madeira da parte mais central da tora se contrai mais longitudinalmente do que a madeira da parte mais externa;

- Encurvamento

Também ocorre pela diferença de retrações nas faces da peça quando uma delas é mais seca que a outra, defeitos da grã e tensões desenvolvidas durante o crescimento da árvore;

- Forma diamantada

A forma de diamante que a peça apresenta é característica de peça com seção quadrada, sendo resultado da diferença entre as contrações tangencial e radial, quando os anéis de crescimento, vão diagonalmente de um canto a outro da seção.

- Endurecimento Superficial

Este defeito segundo OLIVEIRA (1981) surge em função da remoção da água da madeira através da secagem rápida, e de maneira desigual. Nestas condições, as camadas superficiais da peça perdem água rapidamente atingindo umidades inferiores ao PSF, iniciando assim, um movimento de contração. Este processo encontrará oposição, se a camada interior ainda contiver umidade acima do PSF. Como resultado desta situação, as camadas superficiais estarão sujeitas a forças de tensão, enquanto que o interior estando com umidade acima do PSF, não se retrai ficando sujeito à força de compressão. Se a secagem continuar nas mesmas condições, o interior da peça atingirá umidades inferiores ao PSF, contraindo-se. Só que desta vez a retração interior será dificultada pelas tensões superficiais desenvolvidas na fase inicial da secagem. A situação neste momento encontra-se de maneira invertida, ou seja, as camadas superficiais estão sujeita à ação de forças de compressão, enquanto que a camada interna esta sujeita às forças de tensão. Mesmo depois da uniformização do teor de umidade da madeira, esta situação pode permanecer.

É a combinação desses fenômenos que resulta no endurecimento superficial da madeira, que ainda podem gerar rachaduras internas do tipo favo de mel. Para eliminar este defeito, recomenda-se que a madeira seja submetida a um tratamento com vapor (condicionamento), e que seja exposta por longo período de tempo a elevadas umidades relativas (OLIVEIRA, (1981) e GALVÃO e JANKOWSKY, (1985)).

4. MATERIAL E MÉTODOS

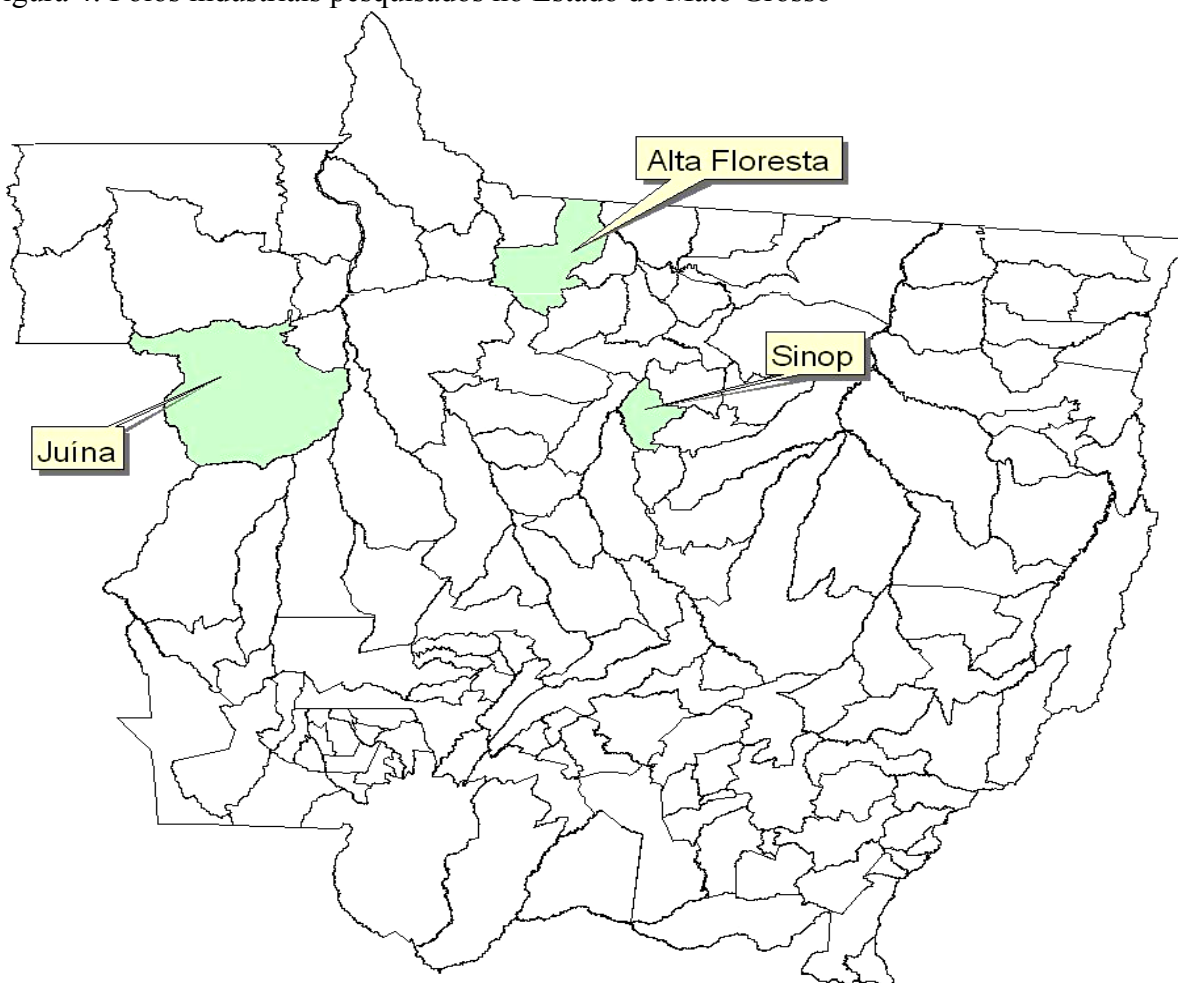
4.1 Locais de estudo

A área de cobertura geográfica para o desenvolvimento do presente estudo considerou os Municípios com grande atividade industrial madeireira, quais sejam: Sinop, Alta Floresta e Juína.

A escolha dos municípios foi em função dos mesmos serem considerados polos madeireiros do Estado de Mato Grosso, e de acordo com as informações obtidas junto aos sindicatos de classe e representantes dos fabricantes de equipamentos. Em princípio estes municípios apresentam maior número de estufas para secagem de madeira serrada em operação no Estado.

A localização geográfica dos municípios pesquisados é apresentada na Figura 04.

Figura 4: Pólos industriais pesquisados no Estado de Mato Grosso



4.2 BASE DE DADOS

Considerando que o estudo incluiu a realização de um levantamento de campo e posterior análise e interpretação das informações disponíveis a respeito das condições operacionais da secagem convencional de madeiras serradas junto as indústria madeireira localizadas na Região Norte do Estado de Mato Grosso. Em uma primeira fase, se fez necessário consultar sindicatos e fornecedores de máquinas e equipamentos para a indústria madeireira, com o objetivo de obter informações, que possibilitassem quantificar as estufas instaladas, assim como sua localização e sua capacidade instalada de secagem.

De posse dessas informações foi estabelecida à amostragem para realizar uma avaliação das variáveis envolvidas no processo de secagem convencional como: mão de obra operacional e gerencial, equipamentos utilizados, técnica empregada, assistência prestada após instalação do equipamento e manutenção.

4.3 LEVANTAMENTO INICIAL

O estudo constou da aplicação de um questionário para coleta das informações. Apesar do questionário ter sido elaborado com base nas informações e literatura disponíveis, tendo como objetivo abranger todas as variáveis relativas aos equipamentos e a operação envolvida na secagem convencional de madeira serrada, foi realizada uma pré-avaliação através de um teste piloto. Isto permitiu introduzir as correções necessárias no questionário melhorando a qualidade da coleta de informações junto às indústrias.

O teste piloto foi realizado em uma indústria localizada no Município de Sinop/MT, onde o entrevistado pode dar sugestões de melhorias no questionário proposto.

Identificou-se que o conjunto de fatores envolvidos diretamente na produção e que contribuem para que o produto (madeira seca) desvie dos padrões pré-estabelecidos acarretando em aumento de perdas e resultando em menor retorno financeiro eram os seguintes: equipamentos utilizados, manutenção e qualificação da mão de obra operacional e gerencial.

O teste piloto aplicado serviu de base para criação de um novo questionário a ser utilizado na coleta das informações junto às indústrias (Anexo 1).

4.4 COLETA DE DADOS

Quando da análise preliminar, constatou-se que seria possível realizar o levantamento em todas as indústrias existentes nos polos a serem entrevistados. Esta conclusão deu-se em função do “reduzido” número de estufas em funcionamento nos três Municípios estudados (49 estufas em 37 indústrias).

Entretanto quando da realização do levantamento em campo, verificou-se que não haveria a necessidade de entrevistar todas as indústrias, pois as configurações dos equipamentos eram as mesmas, apesar de haver diferentes níveis de operação devido ao fato de que em alguns casos os operadores terem sido capacitados.

Optou-se por trabalhar com amostragem aleatória, sendo, 5 indústrias em Sinop com 16 estufas, 5 indústrias em Alta floresta com 9 estufas e 6 indústrias em Juína com 24 estufas. No total foram avaliadas 49 estufas.

4.5 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

As informações gerais da empresa incluindo: razão social, número de funcionários, porte da empresa, fonte de matéria-prima, espécies mais utilizadas, produtos confeccionados, mercado consumidor, capital investido na aquisição da estufa, aceitação do produto no mercado interno e externo, foram obtidas através de entrevista com os próprios empresários ou funcionários de setor administrativo.

Os levantamentos incluíram uma verificação dos equipamentos utilizados para secagem e ainda informações relativas a: procedência, marca, ano de fabricação, material de construção, dimensões internas, capacidade útil, forma de carregamento, sistema de controle (manual ou automático), existência e manutenção dos psicrômetros e termômetros, existência de equipamentos auxiliares (estufas para corpo-de-prova, balança de precisão e medidores de teor de umidade), sistema de ventilação (potência do motor, distribuição no secador e reversão do fluxo), sistema de aquecimento, especificações da caldeira e do material combustível, além de informações quanto utilização de programas de secagem, nível de conhecimento técnico dos operadores e a origem da técnica e controle de qualidade.

As quantificações dos defeitos decorrentes da secagem nas peças incluíram informações sobre rachaduras, empenamentos, colapso e encanoamento. Para tal foram realizadas avaliações visuais em cerca de 10% das peças pertencentes às pilhas de madeira recém seca. Adicionalmente o teor de umidade final e uniformidade na secagem, foram verificados com o uso de medidores elétricos.

A qualidade do empilhamento foi verificada em pilhas prontas para entrar no secador. A avaliação do empilhamento incluiu o sistema adotado, espaçamento entre sarrafos, alinhamento dos sarrafos, dimensões e uniformidade dos sarrafos e do material a ser seco (espécies, espessuras das peças e o teor de umidade).

4.6 AVALIAÇÕES DA ESTRUTURA E DAS OPERAÇÕES

Nas avaliações e medições das condições locais e operacionais envolvidas na secagem convencional, seguiu-se o questionário preparado para tal, que incluiu os seguintes aspectos:

A) AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DA EMPRESA

- Informações gerais: razão social, número de funcionários, porte da empresa, fonte de matéria-prima, espécies mais utilizadas, produtos confeccionados, mercado consumidor, capital investido na aquisição da estufa;
- Características do equipamento utilizado para secagem: procedência, marca, material de construção, capacidade útil, forma de carregamento, sistema de controle, sistema de ventilação e aquecimento;
- Sistema de geração de energia: especificações da caldeira e do material combustível.

B) AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO

- Qualidade do empilhamento: sistema adotado, dimensões, alinhamento e uniformidade dos sarrafos, tipo de acondicionamento e acondicionamento;
- Procedimento de controle: utilização de programas de secagem, nível de conhecimento técnico dos operadores, controle de qualidade, quantificação dos defeitos e registro de defeitos ocorrentes;
- Quantificação dos defeitos decorrentes da secagem nas peças como: rachaduras, empenamentos, colapso e encanoamento.

Para poder realizar as avaliações e medições, além da utilização do questionário, se fez necessário a utilização de paquímetro e trena para medições das dimensões, espessuras e distância entre sarrafos e de medidor de teor de umidade para verificar a uniformidade e percentual de umidade final das peças seca.

4.7 TABULAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISES

As informações coletadas ao longo do desenvolvimento da pesquisa de campo foram tabuladas e criticamente analisadas comparando o verificado em campo com as boas práticas indicadas na literatura. Para facilitar a análise agruparam-se as informações em:

- Características das indústrias pesquisadas;
- Equipamento utilizado para a secagem artificial;
- Nível técnico dos recursos humanos envolvidos na operação;
- Espécies florestais submetidas a secagem;
- Qualidade da madeira seca e a quantificação dos defeitos de secagem;
- Métodos adotados na preparação da madeira a ser seca e o seu reflexo na qualidade do produto.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ASPECTOS GERAIS

Através das informações obtidas junto aos sindicatos de classe e fornecedores de equipamentos, estima-se que nos três polos madeireiros do Estado de Mato Grosso (Sinop, Alta Floresta e Juína), tenham aproximadamente 37 indústrias praticando a secagem artificial de madeiras serradas de um total de 380 nos 3 pólos pesquisados (IEL/FIEMT, 2012).

Nos referidos polos, foram identificadas 49 estufas de 7 (sete) marcas diferentes, representando uma capacidade instalada de 3.156 m³ e uma produção mensal de aproximadamente 7.050 m³ de madeira seca (Tabela 02).

Tabela 1: Capacidade instalada das indústrias pesquisadas para produção de madeira seca

PÓLO	NÚMERO DE INDÚSTRIA	NÚMERO DE ESTUFAS	CAPACIDADE INSTALADA (m ³)
A	05	16	980
B	05	09	725
C	06	24	1.451
TOTAL	16	49	3.156

Polo A: Sinop; Polo B: Alta Floresta e Polo C: Juína

Considerando o grande potencial madeireiro do Estado de Mato Grosso, o número de indústria de base florestal instalada no Estado é cerca de 1000 (IEL/FIEMT, 2012), e que a pesquisa abrangeu três polos madeireiros relevantes, pode-se concluir que o número de indústria que praticam a secagem convencional no Estado ainda é bastante reduzido.

De acordo com relato dos empresários da região, o reduzido número de indústrias que praticam a secagem artificial no Estado, se deve as limitações de capital para investimentos. Este fato está em parte associado à predominância da micro e pequena indústria, com baixa capacidade de investimento.

A baixa capacidade de investimentos por parte das micros e pequenas indústrias madeireiras em máquinas e equipamentos tecnologicamente mais modernos, fica mais evidenciada quando se trata da secagem artificial, que normalmente representam um valor mais elevado. As indústrias da região comercializam madeira serrada principalmente no mercado local e realizam a secagem em sua grande maioria ao ar livre.

As estufas encontradas nas indústrias pesquisadas apresentam uma capacidade média de secagem de 65m³. Verificou-se que na seleção das estufas, os usuários de um modo geral

consideraram somente os aspectos relacionados a capacidade instalada do equipamento. Não foi verificada nenhuma outra variável, como por exemplo, uma relação com a capacidade produtiva de madeira serrada por parte da indústria, custos ou outros fatores. A falta de uma análise mais apurada do processo e do equipamento no momento da aquisição leva a vários erros entre os quais, a aquisição de um equipamento não compatível com a capacidade de produção da indústria.

5.1.1 Madeiras submetidas à secagem em estufa

Estima-se que a Amazônia Legal possua 300 espécies de madeiras com potencial para serem utilizadas pelas indústrias de base florestal. No entanto, conforme demonstrado na Tabela 02, as madeireiras pesquisadas concentram sua produção em cerca de 23 espécies, o que ainda é um número muito reduzido.

Tabela 2: Espécies e produção mensal de madeira seca por polo pesquisado

PÓLO	NÚMERO DE ESPÉCIES	ESPÉCIES MAIS UTILIZADAS	VOLUME DE MADEIRA SECA POR MÊS (m ³)	PERCENTUAL DE VOLUME SECO (%)
A	6	Cumarú - <i>Dipteryx odorata</i> , Cedrinho - <i>Erismia uncinatum</i> , Itaúba - <i>Mezilaurus itauba</i> , Ipê - <i>Tabebuia</i> sp, Jatobá - <i>Hymenaea coubaril</i> , Caixeta - <i>Simarouba amara</i> .	2000	26.1
B	6	Angelim - <i>Hymenolobium</i> sp, Cumarú - <i>Dipteryx odorata</i> , Itaúba - <i>Mezilaurus itauba</i> Ipê - <i>Tabebuia</i> sp, Jatobá - <i>Hymenaea coubaril</i> , Teca - <i>Tectona grandis</i> .	1600	26.1
C	11	Angelim - <i>Hymenolobium</i> sp, Cumarú - <i>Dipteryx odorata</i> , Cedrinho - <i>Erismia uncinatum</i> , Cambará - <i>Vochysia</i> sp, Garapeira - <i>Apuleia</i> sp, Itaúba - <i>Mezilaurus itauba</i> , Ipê - <i>Tabebuia</i> sp, Jatobá - <i>Hymenaea coubaril</i> , Caixeta - <i>Simarouba amara</i> , Maçaranduba - <i>Manilkara</i> sp, Tauari <i>Couratari</i> sp.	3450	47.8
TOTAL	23	-----	7050	100

A: Sinop; Polo B: Alta Floresta e Polo C: Juína

O estudo identificou que o volume mensal de madeira serrada submetida ao processo de secagem artificial nos polos madeireiros abrangidos é de aproximadamente 7.050 m³.

Do total de volume de madeira seca, apenas 350 m³ ou 5% são oriundos de reflorestamento. Este volume se refere a madeira de Teca (*Tectona grandis*) que é a única espécie de reflorestamento submetida ao processo de secagem nos polos entrevistados. O reduzido volume de madeira seca oriunda de reflorestamento de acordo com os entrevistados está relacionado aos seguintes fatores: falta constante de suprimento de matéria-prima; disponibilidade de madeira nativa existente nas regiões próximas as indústrias processadoras e a preferência do mercado consumidor por produtos confeccionados de madeira nativa, correspondendo a 95% do volume seco, como pode ser observado na Tabela 03.

Tabela 3: Espécies de madeiras secas pelo processo convencional nos polos pesquisados

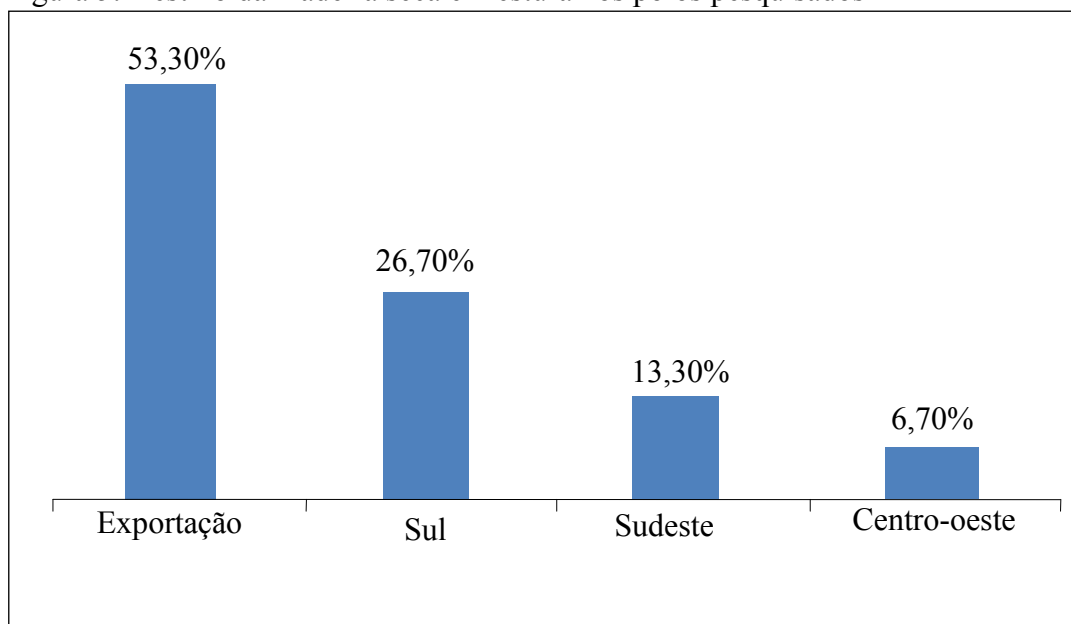
ORIGEM DAS ESPÉCIES	NOME VULGAR	NOME CIENTÍFICO	PORCENTAGEM (%) DA ESPÉCIE NO VOLUME
Nativa (folhosa)	Angelim	<i>Hymenolobium</i> sp	4
	Angelim pedra	<i>Hymenolobium</i> sp	1,5
	Champanhe	<i>Dipterys ferrea</i>	2,0
	Cumarú	<i>Dipterys odorata</i>	6
	Cedro amazônico	<i>Cedrela</i> sp	2,4
	Caroba	<i>Jacaranda Copia</i>	0,6
	Cedrinho	<i>Erismia uncinatum</i>	4
	Cerejeira	<i>Torresea acreana</i>	00,7
	Cambará	<i>Vochysia</i> sp	3
	Catanudo	<i>Calophyllum</i> so	0,7
	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	2
	Figueira	<i>Ficus</i> sp	0,8
	Garapeira	<i>Apuleia moralis</i>	3
	Itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i>	12
	Ipê	<i>Tabebuia</i> sp	16,8
	Jatobá	<i>Hymenea coubaril</i>	19
	Marupá	<i>Simarouba amara</i>	4
	Muiracatiara	<i>Astronium</i> sp	2
	Maçaraduba	<i>Manilkara</i> sp	3
	Peroba-mica	<i>Aspidosperma populifolium</i>	2
	Tatajuba	<i>Bagassa guyanensis</i>	1,5
	Tauari	<i>Couratari</i> sp	4
Reflorestamento	Teca	<i>Tectona grandis</i>	5

Das 23 espécies florestais submetidas ao processo de secagem pelas indústrias pesquisadas, 11 predominam, sendo elas: Angelim, Cumaru, Cedrinho, Cambara, Garapeira, Itaúba, Ipê, Jatobá, Marupá, Maçaranduba e Tauari, juntas representam 79% do total do volume seco.

Apesar de Mato Grosso ter um mercado diversificado de madeira processada, cabe ressaltar, levando em consideração depoimento dos entrevistados, que a demanda pelos produtos produzidos para o mercado externo, contribuiu para predominância das 11 espécies no processo de secagem.

Na Figura 5, são apresentados os mercados consumidores, e suas respectivas participações no consumo das madeiras secas nos polos com base nas respostas dos entrevistados.

Figura 5: Destino da madeira seca em estufa nos polos pesquisados



5.1.2 Equipamentos utilizados na secagem

5.1.2.1 Características gerais das estufas

De acordo com DUCATTI (2000), no mercado brasileiro existiam naquele período 21 empresas que ofereciam estufas para secagem de madeira, incluindo fabricantes ou representantes comerciais de produtores de equipamentos. Destas empresas 9 (nove) são de fabricantes nacionais e 12 (doze) ofertam equipamentos estrangeiros.

Nas indústrias onde foram realizados os levantamentos, identificou-se que as estufas são predominantemente de fabricação nacional, e são procedentes de sete diferentes fabricantes.

Os levantamentos indicaram que as estufas em funcionamento nas indústrias dos três polos, são basicamente do tipo adotado em secagem convencional, e apresentam as mesmas configurações básicas, diferenciando-se principalmente em função da qualidade do material empregado na construção.

As características básicas das estufas em operação nos locais de estudo, incluindo procedência, fabricante (marca), material utilizado na construção, sistema de ventilação, forma de carregamento, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Características básicas das estufas das indústrias pesquisadas.

PROCEDÊNCIA	MARCA	CONSTRUÇÃO	VENTILAÇÃO	CARREGAMENTO
Fabricação nacional	Mocko & Siebert	alvenaria/metal	superior	empilhadeira
	Cfleck	alvenaria/metal	superior	empilhadeira ou vagonete
	Ekitherm	alvenaria/metal	superior	vagonete
	Engecass	alvenaria/metal	superior	empilhadeira
	Benecke	alvenaria/ metal e mista	superior e lateral	empilhadeira
	Secamaq	alvenaria/ metal e mista	superior	empilhadeira
	Fabricação própria	alvenaria/metal	superior e lateral	empilhadeira ou vagonete

Com base nas informações contidas na Tabela 5, verificou-se a predominância de estufas de fabricação própria, cerca de (35%) do total de estufas em operação.

A opção pela escolha da construção dos próprios equipamentos esta associada ao interesse de reduzir os investimentos. Esses equipamentos foram construídos em alvenaria pelos próprios funcionários da empresa sem conhecimento técnico, o que pode comprometer a eficiência do equipamento e a qualidade do material a ser seco.

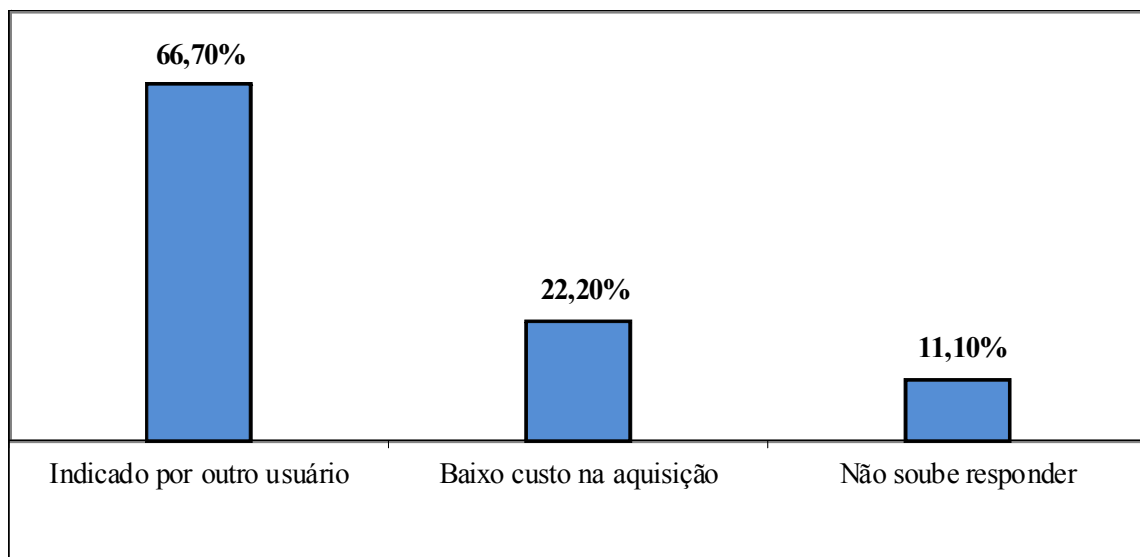
Informações adicionais identificadas sobre os equipamentos, participação dos fabricantes no número total de estufas identificadas, capacidade instalada e outras, são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Distribuição das estufas em funcionamento nas indústrias pesquisadas.

Marca	Número	Porcentagem (%)	Capacidade (m ³)	Porcentagem (%)	Número	Porcentagem de indústria (%)
Fabricação própria	17	34,70	991	31,40	5	27,70
Benecke	15	30,60	860	27,20	4	22,20
Cfleck	7	14,30	485	15,40	4	22,20
Engecass	3	6,10	270	8,60	1	5,60
Ekitherm	3	6,10	200	6,30	2	11,10
Secamaq	3	6,10	180	5,70	1	5,60
Mocko & Siebert	1	2,10	170	5,40	1	5,60
TOTAL	49	100	3.156	100	18	100

O motivo que levou a grande maioria das empresas pesquisadas (66,7%) optarem por determinada marca de estufa, foi indicação de outro usuário (Figura 6). Isto esta em parte associado a falta de capacidade de análise técnica, econômica e financeira da indústria.

Figura 6: Motivo da escolha do equipamento empregado



Uma melhor visualização dos modelos das estufas em funcionamento, bem como dos materiais empregado na construção, estão ilustrados nas Figuras 7, 8 e 9.

Figura 7: Secador construído em alvenaria



Figura 8: Secador metálico



Figura 9: Secador construído pela própria empresa



Na Tabela 6 é mostrado que nos três polos predominam as estufas de alvenaria. De um total de 49 (quarenta e nove) estufas, apenas 2 (duas) eram metálicas.

Tabela 6: Material empregado na construção das estufas

POLO	ALVENARIA		METÁLICA	
	QUANTIDADE	%	QUANTIDADE	%
A	15	93,8	01	6,2
B	09	100	-----	-----
C	23	95,8	01	4,2
TOTAL	47	95,9	02	4,1

Polo A: Sinop; Polo B: Alta Floresta e Polo C: Juína

5.1.2.2 Sistema de carregamento

Durante a preparação da madeira a ser seca, além dos cuidados nas operações de empilhamento e carregamento da estufa, é recomendável que os lotes a serem secos, sejam de madeira com as mesmas dimensões, da mesma espécie e com teores de umidade dentro da mesma faixa. Sobre este aspecto, vale ressaltar que em geral as indústrias preparam as cargas respeitando o recomendado, em função da prática da pré-secagem.

Os sistemas de carregamentos encontrados nas indústrias entrevistadas foram: carregamento por vagonete e carregamento por empilhadeira. Os dois sistemas de carregamento encontrados são apresentados nas Figuras 10 e 11.

Figura 10: Carregamento da estufa por sistema de vagonete



Figura 11: Secador carregado por empilhadeira



Os resultados da Tabela 7 demonstram que o sistema de carregamento por empilhadeira apresenta um maior percentual de uso entre os pólos pesquisados (59,2%), enquanto que o sistema por vagonete apresenta um percentual de (40,8%).

Quando considerados percentuais de uso separadamente por polo, o sistema de carregamento por empilhadeira é predominante no Pólo A (87,5%) seguido pelos Pólos C (45,8%) e B (44,4%).

Independentemente do nível técnico da empresa pesquisada, verificou-se que no carregamento realizado por empilhadeira, a falta de cuidado no transporte da pilhas do setor de gradeamento até o interior da estufa, levou à movimentação (deslocamento) dos separadores, prejudicando o empilhamento. Este fato não foi identificado no carregamento por vagonete, pois a madeira é empilhada diretamente sobre o carro que é levado ao interior da estufa.

Tabela 7: Sistemas de carregamento encontrados nas indústrias pesquisadas

POLO	SISTEMA DE CARREGAMENTO				
	VAGONETE		EMPILHADEIRA		% TOTAL
	QUANTIDADE	%	QUANTIDADE	%	
A	02	12,5	14	87,5	100
B	05	55,6	04	44,4	100
C	13	54,2	11	45,8	100
TOTAL	20	40,8	29	59,2	100

Polo A: Sinop; Polo B: Alta Floresta e Polo C: Juína

A adoção pelo sistema de carregamento ao invés de considerar as espécies a serem secas como recomendado pelas literaturas, teve relação direta com o resultado ao final da secagem. E neste sentido, as estufas com sistema de carregamento por vagonetes, as pilhas de madeiras por serem mais estreitas permitem uma secagem mais uniforme da madeira em comparação com secador tipo empilhadeira. Dai a opção pela escolha do referido sistema.

5.1.2.3 Sistema de aquecimento

O sistema de aquecimento encontrado nas indústrias pesquisadas é formado por trocadores de calor, de tubos aletados e que utilizam como fluido térmico, água quente, vapor saturado de água e ar quente.

Verificou-se que no caso das estufas de fabricação “caseira”, não foram levados em consideração aspectos técnicos para a implantação do sistema de aquecimento, tais como: dimensões e quantidade das aletas, distância entre aletas, temperatura do vapor dentro dos trocadores de calor, pressão de vapor e adequação dos purgadores.

Como reflexo deste fato, em geral, as estufas “caseiras” possuem um sistema de aquecimento subdimensionado, exigindo um longo tempo para elevar a temperatura e dificultando manter temperaturas mais elevadas e constantes durante o processo, contribuindo para aumentar o tempo despendido na secagem.

Verificou-se no pólo de Alta Floresta, que o sistema de aquecimento adotado é formado por um equipamento definido como intercambiador, que na realidade é baseado em um gerador de ar quente. A opção pelo sistema (intercambiador) deve-se a dois principais fatores: i) Escassez de mão-de-obra qualificada para operar a caldeira, em função da mão-de-obra local possuir baixa escolaridade, impossibilitando a qualificação de novos operadores de caldeira. Neste caso não é possível atender as exigências da Delegacia Regional do Trabalho – DRT, que exige no mínimo o ensino fundamental completo ou em andamento, para exercer a função de operador de caldeira, e ii) Limitação de capital das empresa para investimentos, visto que os custos envolvidos na inquisição e instalação de um sistema de caldeira é considerado elevado por parte dos entrevistados. Outra limitação financeira esta no fato de que o uso da caldeira levaria a necessidade de operadores qualificados trabalhando em diferentes turnos, sendo que cada operador necessita de um ajudante, e com isso os custos com a mão-de-obra ficam mais elevados.

Constatou-se que independentemente da tecnologia empregada, em geral o sistema de aquecimento foi mal dimensionado e que em alguns casos, ocorrem falhas no funcionamento dos purgadores. Existem indícios de que, devido as falhas no sistema de aquecimento, a distribuição do calor não é uniforme em toda extensão da estufa, criando regiões onde a troca térmica é mais eficiente, gerando diferentes temperaturas dentro da estufa.

As informações disponíveis indicam que a limitação está associada ao dimensionamento e aspectos construtivos do sistema de aquecimento. Para dimensionar a área de troca térmica dos trocadores de calor e instalar o sistema de aquecimento, são necessários

conhecimentos que possibilitam definir, por exemplo, valores de demanda térmica máxima consumida no secador, o coeficiente global de troca térmica, as diferenças de temperatura, disponibilidade de vapor a pressão constante, adequação dos purgadores e a velocidade de circulação do ar, afim de que a energia produzida seja necessária para aquecer e manter o secador em funcionamento com condições uniformes.

As Figuras 12 e 13 ilustram as estufas utilizando dois sistemas de aquecimento diferenciados, sendo o primeiro com o uso de trocadores de calor com a circulação de vapor e o segundo com o gerador de ar quente.

Um aspecto importante relativo a deficiência construtiva do sistema de aquecimento pode ser observado na figura 12. Os espaços abertos entre os trocadores de calor, devido a inexistência de chapas deflectoras para fechamento permitem que o ar circule sem passar pela área aquecida, o que reduz a eficiência do sistema.

Um sistema de aquecimento subdimensionado necessita de mais tempo para elevar a temperatura dentro da estufa, conseqüentemente dificuldade para manter temperaturas elevadas e constantes durante o processo, aumentando sobremaneira o tempo na secagem.

Figura 12: Sistema de aquecimento utilizando vapor em trocadores de calor com tubos aletados.



Figura 13: Modelo de intercambiador (gerador de ar quente).



5.1.2.4 Sistema de ventilação

Apesar da circulação do ar no interior da estufa ser um dos fatores de maior importância para a condução de uma secagem mais rápida e com qualidade, este aspecto tem sido negligenciado por grande parte das indústrias pesquisadas.

Constatou-se que na maioria dos casos havia problemas com o sistema de ventilação. Esses problemas são decorrentes do inadequado dimensionamento de seus componentes, da pouca incorporação tecnológica empregada na construção das estufas e da falta de *know-how* dos construtores.

As entrevistas realizadas indicam não ter havido critério técnico na escolha dos ventiladores (diâmetro, número de pás e potência do motor, vazão e outros parâmetros).

Ao verificar o diâmetro dos ventiladores a potência de seus motores, e a distribuição desses equipamentos no interior das estufas, constatou-se que variavam muito entre as estufas de mesmas dimensões internas e capacidade. Estufas com capacidades similares apresentam motores com potência unitária variando entre 1,5 a 7,5 CV e diâmetro entre 0,45m a 1,50m.

Em geral os ventiladores estão posicionados nas laterais em relação a pilha de madeira ou sobre um teto falso. A velocidade do ar na passagem pela pilha varia entre 1,5 m/s a 4,8 m/s. Essas variações têm um efeito maior sobre a taxa de perda de umidade e uniformidade do teor de umidade final do que qualquer outra variável.

A Figura 14 ilustra o modelo de ventilador típico utilizado nos estufas das empresas pesquisadas. Trata-se de um ventilador axial com acionamento direto.

Figura 14: Ventilador típico utilizado nos estufas



A ausência de um projeto de engenharia, que determina a relação entre potência necessária para o motor elétrico, vazão e pressão do ar, contribui para deficiências do sistema de ventilação e ainda para uma distribuição não uniforme da circulação de ar, surgindo gradientes nas pilhas de madeira. Essa ineficiência foi constatada em todos os equipamentos construídos pelas próprias indústrias pesquisadas.

Tão importante quanto à velocidade de circulação do ar é a distribuição do fluxo de ar através das pilhas de madeira. Mesmo operando com velocidades adequadas, se o fluxo não for uniforme em toda a seção transversal da estufa, parte da carga secará mais rapidamente e levará a obtenção de umidade desuniforme ou prejudicará a qualidade da madeira.

Os problemas existentes de certa forma poderão ser resolvidos com a elaboração de um projeto de engenharia dimensionando o sistema corretamente, posteriormente passando por uma adequada preparação da madeira envolvendo as operações de empilhamento e carregamento das estufas, visto que um empilhamento bem feito facilita o fluxo de ar através da pilha, contribuindo para uma secagem mais rápida e uniforme.

Outro aspecto importante a ser considerado é de que a aquisição de um equipamento deve passar por uma escolha mais criteriosa, e que leve em conta as características técnicas dos equipamentos existentes no mercado.

5.1.2.5 Sistema de renovação de ar “*damper's*”

Um dos componentes importantes das estufas são as entradas e saídas de ar. Essas entradas e saídas possibilitam a renovação do ar úmido do interior e o controle da umidade relativa da estufa.

Verificou-se com frequência nas estufas de fabricação “caseira” que o funcionamento desses componentes não é satisfatório e não permite que o volume de ar admitido ou expelido seja igual em toda a extensão da estufa, gerando diferentes condições de secagem e desuniformidade na umidade da pilha. Isso ocorre porque o “*damper*” de um extremo da estufa abre ou fecha mais do que o “*damper*” do outro extremo, fazendo com que a temperatura e a umidade relativa do ar sejam diferentes em determinadas partes da estufa.

A Figura 15 ilustra os sistemas de fechamentos utilizados. Já a Figura 15A demonstra um sistema que comprova que a capacidade de troca do ar está comprometida, pois não foi corretamente dimensionada, e em muitos casos o posicionamento em relação ao fluxo de ar não é apropriado. A grande maioria do acionamento adotado para o controle das entradas e saídas de ar é manual.

Contatou-se durante os levantamentos que em geral os *dampers* estão posicionados na parte superior. Somente no Pólo C em uma das empresas pesquisadas, identificou-se a presença de um conjunto de *dampers* posicionados na parte frontal da estufa.

A foto (a) mostra um sistema rústico de fechamento, já a foto (b) o sistema é mais evoluído.

Figura 15: Entradas e saídas de ar utilizado nas estufas



A: Fechamento “rústico”

B: Sistema mais evoluído

Os levantamentos apontam falhas no dimensionamento da maioria dos *dampers*, e considerando que em geral não existe projeto técnico, era esperada essa constatação.

Nos levantamentos foram encontradas entradas e saídas de ar com dimensões variando de 25 x 25cm a 50 x 50cm. Essas dimensões foram definidas aleatoriamente, sem considerar a temperatura, o percentual de umidade relativa do ar de entrada, a capacidade de absorção de água pelo ar, e outras variáveis.

Uma das deficiências resultante é o fato dos operadores terem dificuldades de atingir a umidade relativa do ar desejada dentro da estufa, e normalmente operam com uma umidade relativa superior à desejada e com isso retardam a secagem.

5.2 FONTE DE GERAÇÃO DE ENERGIA

As indústrias utilizam duas fontes de energia: elétrica e térmica. A energia térmica é produzida a partir de resíduos e a energia elétrica é fornecida pela rede pública ou através de geração própria.

A Tabela 8 apresenta a origem da energia elétrica utilizada nas estufas para os três pólos considerados neste estudo. A escolha da fonte de energia elétrica em cada pólo, esta principalmente associada a oferta de energia na rede pública. Quando decresce a oferta e o preço da energia aumenta, a economia de energia torna-se uma das variáveis mais importantes no processo. COMSTOCK (1975) estimou que na secagem o consumo de energia é de 60% a 70% de toda a energia consumida na produção de madeira manufaturada.

A Tabela 8 mostra ainda que por mais que as indústrias tenham geração própria de energia, elas não são auto-suficientes, ainda utilizam boa parte de sua demanda da rede pública. Essa situação se justifica pelo fato das estufas funcionarem ininterruptamente, a demanda de energia elétrica por parte desse equipamento pode representar custo elevado da energia elétrica para uma indústria madeireira dependendo do produto que está sendo manufaturado. Se considerados os períodos de pico e as diferentes políticas de taxação adotadas pelas distribuidoras de energia elétrica, pode ser concluído que a participação da secagem nos custos de produção é mais importante que os aspectos técnicos.

Tabela 8: Fonte de energia elétrica e térmica utilizadas nas indústrias

POLO	FONTE DE ENERGIA			
	REDE PÚBLICA – RP		ENERGIA MISTA - RP/GP	
	QUANTIDADE	%	QUANTIDADE	%
A	4	80,0	1	20,0
B	2	40,0	3	60,0
C	2	33,3	4	66,7

Polo A: Sinop; Polo B: Alta Floresta e Polo C: Juína

Estudos realizados por SEVERO (1986) e citado por KLITZKE (2002) menciona que dentro do complexo industrial de transformação da madeira o processo de secagem é que tem maior participação nos custos podendo chegar a 50% dos custos totais de produção. Com a escassez crescente de energia é necessário cada vez mais o aperfeiçoamento das técnicas de secagem que visem a redução do consumo energético.

Para FRICK (1976) *apud* TOMASELLI (1981), a energia consumida na secagem de madeira é dividida em energia térmica e elétrica. A energia térmica é utilizada inicialmente para aquecimento de todo o sistema e a energia elétrica é utilizada na circulação do ar na estufa. A energia térmica é consumida ainda na secagem para evaporar a água, aquecer o ar de entrada e repor as perdas de calor que ocorre pelas paredes, tetos e portas.

Em relação a energia térmica todas as indústrias pesquisadas geram esse tipo de energia (vapor ou ar quente) a partir da queima direta em caldeiras ou intercambiadores, que

tem como combustível utilizado os resíduos (aparas, cavacos e maravalha) provenientes do desdobro de toras em madeira serrada e beneficiada.

As caldeiras utilizadas pelas indústrias pertencentes aos pólos de Sinop e Juína podem ser observadas na Figura 17. Predominam caldeiras do tipo locomóveis que têm como principal característica apresentar uma dupla parede metálica, pela qual a água circula. A pressão de operação dessas caldeiras varia de 7 a 15 kgf/cm².

O emprego desse tipo de equipamento, para alguns empresários é justificado pelo baixo custo de aquisição e instalação, além de poder utilizar qualquer resíduo de madeira. Outro aspecto relacionado ao uso desse equipamento é a facilidade de transferência de local e de proporcionar adicionalmente, através do acionamento mecânico, a produção de energia elétrica em lugares desprovidos desse tipo de energia.

Na figura 16 e 17 são apresentados sistemas típicos de geração de energia utilizados pelas indústrias.

Figura 16: Grupo gerador utilizado por indústria na região pesquisada



Figura 17: Caldeiras típicas utilizadas pelas indústrias na região pesquisada para produção de vapor



5.3 OPERAÇÃO DE SECAGEM

5.3.1 Empilhamento

Uma primeira avaliação indicou que as cargas submetidas a secagem eram relativamente uniformes, ou seja, eram formadas pelas mesmas espécies, espessuras e teores de umidade inicial dentro de uma mesma faixa.

Porém, analisando mais detalhadamente foram identificados problemas na forma de empilhamento. Muitas empresas não têm um bom entendimento da importância do empilhamento, e muitos insucessos na secagem podem ser atribuídos a um deficiente sistema de empilhamento.

Entre os problemas identificados esta a grande variabilidade nas dimensões dos sarrafos separadores. Outro problema observado foi o distanciamento entre os sarrafos separadores, o que não segue nenhum critério e tem distâncias variando de 25 a 97 cm. Sarrafos separadores com espessura variada contribuem para aumentar a incidência de defeitos relacionados com o empenamento. Na Tabela 9 contém informações que revela o quanto essa atividade é negligenciada por parte das indústrias.

O empilhamento sendo uma das operações que envolvem a preparação da madeira para posterior carregamento da estufa, deve ser criteriosamente executado. Um empilhamento bem feito, com sarrafos separadores bem uniformes e alinhado, previne o surgimento de defeitos relacionados ao empenamento.

Os dados apresentados na Tabela 9 demonstram que o Pólo A apresenta o pior resultado no empilhamento. Este fato pode ter relação direta com a forma de carregamento. Como mostrado anteriormente (Tabela 7) 87,5% das indústrias pesquisadas pertencentes ao Pólo A utilizam o sistema de carregamento por empilhadeira, e não existe nenhum cuidado da parte operacional no transporte das pilhas de madeira do setor de gradeamento até o interior da estufa. A movimentação da pilha durante o transporte provoca o afastamento dos sarrafos separadores prejudicando assim a qualidade do empilhamento.

Apesar da constatação de variações no distanciamento entre os sarrafos separadores nos Pólos B e C, a qualidade do empilhamento é superior ao Pólo A. Esta melhor qualidade pode estar relacionada ao fato de que nesses Pólos B e C o sistema de carregamento por vagonete é prioritário, e, portanto não ocorrendo movimentação da pilha de madeira.

Tabela 9: Dimensões das peças de madeira utilizadas na preparação da carga das estufas

Polo	Espessura média da madeira (cm)			Espessura média dos sarrafos (cm)			Distância média entre sarrafos (cm)		
	Desejada	Média Encontrada	Variação	Desejada	Média Encontrada	Variação	Desejada	Média Encontrada	Variação
A	2,5	2,3	1,9 a 2,7	2,5	2,2	1,5 a 2,5	50	55	25 a 97
B	4,0	4,1	3,8 a 4,0	2,5	2,3	2,2 a 2,8	40	45	35 a 70
C	3,0	2,9	2,5 a 3,5	3,0	2,5	2,3 a 3,5	42	45	38 a 72

Polo A: Sinop; Polo B: Alta Floresta e Polo C: Juína

Em função de ter encontrado usuários do sistema de carregamento por empilhadeira em todos os pólos pesquisados, recomenda-se uma maior atenção na acomodação das pilhas de madeira no interior da estufa.

A melhor qualidade do empilhamento resultou em menor quantidade de peças empenadas conforme resultados apresentados na Tabela 10. Já que o surgimento de defeitos relacionados com empenamentos pode ser minimizado ou até mesmo eliminado com o uso de sarrafos com as mesmas dimensões e bem alinhados.

Tabela 10: Percentual dos defeitos ocorridos durante a secagem

Polo	Arqueamento (%)	Torcimento (%)	Encanoamento (%)	Encurvamento (%)	Colapso (%)	Peças sem defeitos (%)
A	5,0	6,0	2,0	34,0	0,0	53,0
B	3,0	2,0	1,0	25,0	1,0	68,0
C	2,5	4,0	1,0	28,0	0,0	64,5

Polo A: Sinop; Polo B: Alta Floresta e Polo C: Juína

A Figura 18 ilustra as formas de empilhamentos encontradas, a foto (a) mostra a forma de empilhamento correta, a foto (b) a forma de empilhamento incorreta.

Figura 18: Forma de empilhamentos encontrados nas indústrias



A: Forma correta de empilhamento

B: Forma incorreta de empilhamento.

Cabe ressaltar que as peças defeituosas ou tensionadas após o processo de secagem apresentadas na Tabela 10 são reintroduzidas na linha de produção para confecção de diversos produtos. Esse procedimento contribui para redução do percentual de peças rejeitadas.

5.3.2 Programa de secagem

Durante os levantamentos constatou-se que o programa de secagem é um dos fatores determinantes para que a secagem convencional ocorra de maneira adequada. Constatou-se ainda, que os programas de secagem utilizados principalmente os baseados em umidade-temperatura, em sua grande maioria foram fornecidos de acordo com relato dos entrevistados, pelos fornecedores de equipamento e/ou componentes. Devido ao fato das deficiências técnicas apresentadas pelos operadores impossibilitarem que esses elaborem programas de secagem que melhor atendam as necessidades das empresas em que atuam profissionalmente.

Entretanto, os bons resultados só poderão ser alcançados se, além da adoção de programas de secagem bem elaborados, houver o correto dimensionamento do equipamento e de seus componentes, aliado a uma mão-de-obra operacional qualificada. Sobre estes aspectos, as informações contidas nas Tabelas 5 e 13 apontam negligência por parte das indústrias pesquisadas, revelando respectivamente, que ao redor de 35% das estufas em operação são de fabricação caseira, estas apresentam limitações quanto ao projeto construtivo ou componentes e sistemas de controle inadequados ou ausentes, e que, independente do polo pesquisado, as condições operacionais envolvem operadores com falta de experiência ou conhecimento, comprometendo a qualidade do material a ser seco.

O reflexo do processo de secagem com as limitações acima apontada contribuíram para que a média de peças defeituosas atingisse 38,2% após a secagem (Ver Tabela 10) e que o teor de umidade final da madeira apresentasse casos com variabilidade muito elevada, teores de umidade acima do valor desejado, conforme demonstrado na Tabela 12, limitando a capacidade competitiva das indústrias.

Tabela 11: Padrões de temperaturas e umidades relativas encontrados nos programas de secagem nas empresas dos pólos pesquisados

Faixa de umidade (%)	Tbs (°C)	Tbu(°C)	UR(%)	UE(%)	PS
até 50	45,0	43,5	91	19,4	-
50	45,0	43,0	89	18,4	2,72
40	45,0	42,5	86	17,0	2,35
30	45,0	41,5	81	15,1	1,99
25	52,0	47,0	74	12,4	2,02
20	61,0	54,0	67	10,1	1,98
15	70,0	57,5	54	7,3	2,05
10	70,0	50,0	35	5,0	2,00

5.3.3 Teor de umidade final

Na tabela 12 são apresentados os resultados do teor de umidade final da madeira, baseado em levantamentos feitos em lotes de madeira seca em estufa.

Como podem ser observados os resultados se encontram dentro de limites aceitáveis, mas existem casos onde a variabilidade é bastante elevada, com teores de umidade muito acima do valor desejado.

Tabela 12: Teor de umidade final da madeira seca em cada empresa dos polos pesquisados

Polo	Nº Empresa Pesquisada	Teor de Umidade Final (%)			
		Desejada	Média Encontrada	Variação	Amplitude de Variação
A	1	8	6,5	4,5 a 10,0	5,5
	2	12	8,7	6,5 a 14,8	8,3
	3	12	10,0	5,9 a 18,5	12,6
	4	15	12,5	9,4 a 25,1	15,7
B	1	12	10,5	8,2 a 14,4	6,2
	2	8	6,5	5,5 a 10,4	4,9
	3	12	10,5	7,5 a 16,2	8,7
	4	12	9,5	6,9 a 15,4	8,5
	5	6	4,8	4,2 a 8,5	4,3
C	1	10	8,5	7,5 a 12,8	5,3
	2	10	8,9	6,8 a 12,5	5,7
	3	12	10,3	8,5 a 14,7	6,2
	4	8	6,2	5,9 a 10,3	4,4
	5	10	8,5	8,5 a 14,9	6,4
	6	6	4,5	4,1 a 8,9	4,8
	7	8	6,8	5,7 a 10,5	4,8

Polo A: Sinop; Polo B: Alta Floresta e Polo C: Juína

5.3.4 Recursos humanos envolvidos na operação

A falta de mão de obra qualificada é um dos mais sérios entraves para as indústrias avaliadas.

Na Tabela 13 é mostrado que 34,3% dos responsáveis pela operação de secagem são os sócios-proprietários, e este fato está relacionado a dois principais fatores: i) Os sócios tem maior nível de escolaridade, tem um melhor entendimento de todas as atividades que agregam valor aos produtos e das necessidades de secagem, e ii) Os funcionários disponíveis são em geral pessoas sem capacitação técnica para atuar no setor de secagem.

Tabela 13: Nível de qualificação dos operadores e origem do conhecimento

Polo	Responsável pela Operação	Experiência Anterior	Fonte do conhecimento sobre secagem
A	Funcionário (100%)	Possui (100%)	Repasada por operador da região com mais experiência prática ou curso ministrado pelo SENAI - Sinop/MT.
B	Funcionário (80%) Sócio-Proprietário (20%)	Nenhuma (62,5%) Possui (37,5 %)	Repasada por operador da região com mais experiência prática; Experiência prática (tentativa e erro); Cursos ministrados em geral por um operador que possui experiência prática acima da média e em alguns casos pelo fornecedor do equipamento.
C	Funcionário (85,7%) Sócio-Proprietário (14,3%)	Nenhuma (85%) Possui (15%)	Experiência prática (tentativa e erro) ou curso ministrado pelo SENAI - Juína/MT.

Polo A: Sinop; Polo B: Alta Floresta e Polo C: Juína

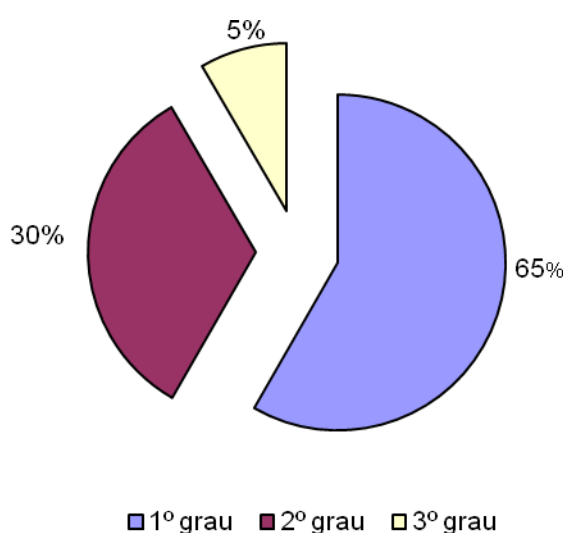
A grande maioria dos operadores (65%) possui primeiro grau completo ou está cursando. Esta característica, somada a falta de interesse da indústria em investir na capacitação desse pessoal, faz com que os operadores sejam em geral mal preparados.

A Figura 19 apresenta o nível de escolaridade desses operadores. Informações adicionais sobre a qualificação dos operadores e a origem do conhecimento são apresentadas na Tabela 13.

Os salários dos operadores variam entre as empresas, ficando entre dois salários mínimos e meio, podendo chegar até quatro salários mínimos para aqueles mais qualificados ou mais experientes.

A pesquisa revelou ainda que apesar dos empresários entenderem que a secagem convencional é a operação que mais contribui para agregar valor aos produtos de madeira, e de ser uma das fases de maior custo dentro da indústria de transformação, pouca atenção tem sido dispensada na qualificação da mão-de-obra. Esta é uma atitude contrária as necessidades encontradas. O aprimoramento na produção e nos padrões de qualidade do produto obrigatoriamente passa pelo treinamento e/ou capacitação da equipe técnico-operacional.

Figura 19: Nível de escolaridade dos operadores do setor de secagem



5.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA SECAGEM

A análise dos resultados envolvendo a variação do teor de umidade final e a ocorrência de defeitos nas peças submetidas ao processo de secagem, tomando como base o padrão de qualidade pretendido para madeira seca em processo convencional, permitiu identificar as mudanças necessárias para melhora da eficiência e competitividade nas indústrias pesquisadas.

Os resultados do teor de umidade final da madeira seca demonstrados anteriormente (Tabela 12) indicam que em todas as indústrias pesquisadas o processo final da secagem poderia ser melhor conduzido. O teor de umidade final da madeira seca nos Pólos B e C apresentaram menor amplitude de variação quando comparados com o Pólo A.

Em geral, o teor de umidade final de um lote ou de uma carga de madeira submetida a secagem é dado pela média dos valores das peças separadamente e, portanto, variações entre elas são esperadas. Para reduzir essas variações, particularmente em madeiras submetidas a secagem em estufa, deve-se proceder, intervenções principalmente na fase de uniformização. Para GALVÃO & JANKOWSKY (1985) como regra geral, uma amplitude de variação de 2% no teor de umidade entre as peças de madeira no final da secagem, é considerado como um bom padrão de qualidade.

De acordo com SANTINI (1996) deveria ser prática comercial comum, secar madeira até um teor de umidade médio final correspondente ao menor valor de umidade de equilíbrio observado para aquela situação de uso. Assim, durante o período de armazenamento, processamento ou uso, a madeira absorveria umidade, possibilitando uma distribuição mais uniforme e equalizada do teor de umidade.

Os defeitos de secagem encontrados estão relacionados principalmente a falta de cuidado no empilhamento, este quando mal realizado é um fator determinante para o aumento na incidência de empenamentos. Entre os defeitos de empenamentos o mais freqüentemente encontrado foi o encurvamento. Esse tipo de defeito pode ser evitado se durante o preparo da pilha, incluindo a utilização de sarrafos separadores uniformes e devidamente alinhados.

Uma característica comum entre as indústrias pesquisadas é o fato de não existir procedimentos operacionais, com a finalidade de avaliar o padrão de qualidade da madeira seca e quantificar os defeitos decorrentes da secagem.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nas informações obtidas no diagnóstico e nas análises do estudo, as condições verificadas são as seguintes:

- a) Apenas uma pequena parcela da indústria madeireira de Mato Grosso emprega a secagem artificial, devido, principalmente a limitações de capital para investimento, e isto tem limitado o acesso da indústria local a mercados de produtos de maior valor agregado;
- b) A indústria madeireira na região coberta por este estudo é tecnicamente carente. Por falta de conhecimentos, a seleção de equipamentos não considera aspectos técnicos básicos, incluindo parâmetros econômicos e isto leva em geral a implantação de estruturas ineficientes de secagem;
- c) A falta de mão-de-obra qualificada está também presente na área de operação dos equipamentos de secagem. Este é um sério entrave para a correta aplicação de técnicas de secagem pela indústria madeireira da região estudada, independentemente do polo pesquisado;
- d) Embora exista em princípio consciência da carência na qualificação de recursos humanos, as empresas têm feito poucos investimentos para alterar o quadro vigente;
- e) Existem vários fatores relacionados aos equipamentos que afetam o processo de secagem e que podem ser melhorados. Melhorias significativas podem ser feitas no sistema de aquecimento, sistema de ventilação e de circulação, especialmente nos estufas desenvolvidos pelas próprias indústrias;
- f) Das práticas operacionais a que apresenta necessidade de intervenção imediata, e com a possibilidade de ganhos significativos de produtividade e qualidade, está relacionada ao empilhamento;
- g) As informações levantadas apontam que o melhor padrão de qualidade da madeira seca é encontrado no secador com sistema de carregamento por vagonete. Este sistema de carregamento permite um melhor empilhamento e melhor acomodação das pilhas no interior das estufas.

Com base nas informações coletadas e nas conclusões deste estudo, propõe-se um programa de apoio tecnológico para melhoria do processo de secagem. O programa deveria ser criado e implementado em estreita colaboração entre o setor público e privado considerando as seguintes ações básicas:

- a) Apoio a gestão empresarial, incluído assistência técnica para o fortalecimento da capacidade técnica na área de seleção de processos e equipamentos. Embora o foco inicial seja o setor de secagem os conhecimentos serão úteis a outras áreas de investimentos;
- b) Qualificação de mão-de-obra operacional para operações de secagem convencional, visando a aplicação de melhores técnicas e para melhorar a produtividade e os padrões de qualidade da madeira seca;
- c) Disponibilização de financiamento por meio de linha de crédito para aquisição de estufas como incentivo a verticalização e agregação de valores a madeira.

Para desenvolver e implementar um programa de melhoria tecnológica poderão ser envolvidas instituições que já operam na região tais como os centros operados pelo SENAI, a UFMT e outras, bem como uma iniciativa que envolve a articulação de um conjunto de ações de governo em apoio à expansão desse programa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANDRADE, A. **Indicação de programas para secagem convencional de madeiras.** Piracicaba , 2000. 72p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

ARGANBRIGHT, D.G. State-of-the-Art Report: **Developments in applied drying technology**, 1971 – 1977. For. Prod. J. Madison, v. 29, n 12, 14-20p, 1979.

BACHRICH, J.L. **Dry Kiln handbook.** Vancouver: Simons, 1980. 374p.

BANKS, C.H. **Solar drying of timber a development study.** CSIR Subject Survey Hout. Pretoria, 1969, 29p.

BRAMHALL, G.; WELLWOOD, R.W. **Kiln Drying of western Canadian lumber.** Vancouver , British Columbia, 1976. 111p. (Western Forest Products Laboratory).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL:** Folha SB.21 (1975) e parte da Folha SD.20 (1979) 660 p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 29).

BROWN, H.P.; PANSHIN, A.J & FORSAITH, C.C. **Wood in Relation to Moisture.** In: Textbook of Wood Technology. New York, McGraw Hill, 1952, v.2, 61 – 98p.

BRUNNER, R. & HILDEBRAND, R. **Die Schitthoizarocknung. 5 Auflage.** Hannover , Replublica Federal Alema, 1987.

ESTUFA DE POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **O Agronegócio da Madeira em Mato Grosso.** Cuiabá. 2000. 34p.

CECH, M.Y.; PFAFF, F. **Kiln operator's manual Eastern Canada.** Ontario: Eastern Forest Products Laboratory, 1977. 189p.

CHEN, P.Y.S. et al. **Experimental solar-dehumidifier kiln for drying lumber**. For. Prod. J. Madison, v. 32, n 9, 35 – 14 p. 1982.

COMSTOCK, G.L. **Energy requirements for drying of wood products**. Madison, **Proceedings Wood Residue as na Energy Source**. Forest Products Research Society, 1975

DINWOODIE, J. M. **Timber its nature and behavior**. Princes Risborough Laboratory. Building Research Establishment. New York. USA, 1981.

FERREIRA, J.C.V. **Mato Grosso e seus Municípios**. Cuiabá, 2001. 560p.

Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso – FAMATO. **I Congresso de Agrobusiness**. Disponível : www.famato.org.br.

FRICKE, K.W. **The Relation of Humidity and Air Circulation to the Drying of Timber**. Melbourne,CSIRO, Div. Of For. Prod. , 1968. 12p.

GALINA, I.C.M. Variação da resistência elétrica em madeiras visando agrupamento de espécies. Piracicaba: ESALQ/USP, 1997. 93p Tese Mestrado.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GOMIDE, J.L. **Secagem da madeira**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1973. 76p.

HART, C.A. **The drying of wood**. N.C. State Univ. Sch. For. Tech. Rep., 1965. 27p.

HART, C.A. **The drying of wood**. Raleigh: North Caroline Agricultural Extension Service, 1966. 24p (Extension Circular, 471).

HILDBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Berlim: Maschinenbau GmbH, 1970. 198p.

HILDBRAND, R. **El Secado de Madera Aserrada**. Madrid: Comercial Sagrera S.A., 1964. 159p.

HOLMES, S.; ARGANBRIGHT, D.G. **Dry test with a weight-actuated lumber drying control system.** For. Prod. J., Madison, v 26, n 11, p. 31-39, Nov. 1976.

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – IMAZON. **A Expansão Madeireira na Amazônia, 2005.** Disponível: www.imazon.org.br.

Instituto Euvaldo Lodi – IEL / Federação das Indústrias no Estado de Mato Grosso - FIEMT. **Programa de Segurança e Saúde no Trabalho nas Indústrias Madeireiras do Estado de Mato Grosso.** Cuiabá: 1999. 60p. (Projeto Vida).

Instituto Euvaldo Lodi – IEL / Federação das Indústrias no Estado de Mato Grosso - FIEMT. **Censo cadastro e diagnóstico do setor madeireiro em Mato Grosso.** Mato Grosso, Cuiabá: 2000. 23p

Instituto Euvaldo Lodi – IEL / Federação das Indústrias no Estado de Mato Grosso - FIEMT. **Guia das Empresas/2012.** Mato Grosso, Cuiabá: 2012.

JANKOWSKY, I.P. **Melhorando a eficiência dos estufas para madeira serrada.** Circular Técnica - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF, São Paulo, n.191, 2000. 15p.

JANKOWSKY, I.P. **Fundamentos do controle de qualidade.** Revista Indústria Moveleira, São Paulo, n.25, p.404-41, 1991.

JANKOWSKY, I.P. **Processo de Secagem – A procura da fórmula mágica.** Revista Referência 10/03/2007. Disponível: <http://www.revistareferencia.com.br>.

KAVVOURAS, P.K.; SKARVELIS, M.A. **Computerized control system for an experimental solar lumber dryer.** Holz Roh-Werkstoff, Berlin, v 51, n 4, 267 – 271p, 1993.

KARAVAEVA, N.M. et al. **Automated technological process control system for kiln seasoning of lumber.** Derv. Prom., Moscow , n 12, p. 12-14, 1987. For. Prod. Abstr., Farnham Royal, v.12, n 7, p 150,1989. Ref. 1241. Resumo.

KLITZKE, R. J. **Uso de Inversor de Frequência na Secagem de Madeira**. Curitiba, 2002. 218p. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KOCK, P. **Process for straightening and drying southern pine 2 by 4's in 24 hour**. For. Prod. J. 21(5): 17-24, 1971.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ Jr.W.A. **Principles of wood science and technology – I. Solid wood**. New York: Springer – Verlag, 1968. 592p.

KOLLMANN, F.F.P. **Tecnologia de la Madera e sus Aplicaciones**. 2ed. Madrid: Ministério da Agricultura. Instituto Florestal d Investigaciones, Experiências, 1959. v1 675p.

KUUN, C.P.; VERMAAS, H.F. **The supervisory PC in process control system with special reference to the kiln drying of wood**. Holz Roh-Werkstoff, Berlin, v 46, n1, p 27-31, Jan, 1988.

LOUZADA, J.L.P.C., MARCOS, S.M.R., SILVA, M.E.C.M. Avaliação do Comportamento de secagem da madeira em estufa para 14 espécies florestais. **II Congresso Ibero – Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais**, Curitiba, [s.n.] 2002, p.i.f.

MACFARLANE,K.A.; CASTRO,A.A. Gerenciamento da qualidade com participação integrada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONTROLE DE QUALIDADE, 6, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP,1990.p.i.f.

MACKAY, J.F.G.; OLIVEIRA, L.C. **Kiln operator's handbook for Western Canada**. Vancouver, Forintek Canda Corp. 1989. 61p. (Special Publication No. SP-31)

MARTINS, V.A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF, 1988. 56p.

McMILLEN, J.M. & WENGERT, E.M. **Drying Eastern Hardwood Lumber**. Madison. USDA For. Prod. Lab. 1978. 140p (Agriculture Handbook, 528).

MELO, J.R. **Secagem de madeiras**: teoria e prática de secagem artificial de madeiras. Lisboa: Estação Florestal Nacional 1999, 382p.

MENDES, A.S.; MARTINS, V.A.; MARQUES, M.H.B. **Programas de secagem para madeiras brasileiras**. Brasília: IBAMA, 1998. 114p.

MENDES, A.S. **A Secagem da Madeira**. Manaus: INPA, 1996. 64p.

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. Disponível: <http://www.aliceweb.mdic.gov.br>.

MORESCHI, J.C. **Relação água madeira e sua secagem**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba: 1975. 91p.

OLIVEIRA, L.C.S. **Perguntas e respostas em secagem de madeiras**. São Paulo: IPT, 1981.36p.

PONCE, R.M. ; WATAI, L.T. **Manual de secagem de madeira**. Brasília: MIC;STI;IPT, 1985. 70p. (Série Documentos, 22).

PLUMPTRE, R. A. **Solar drying kilns for sawnwood**. For Prod. Abstr. Farnham Royal . v 8, n 2, 33 – 45 p, 1985

RASMUSSEN, E. F. **Dry Kiln Operator's Manual**. Madison: USDA. Forest Products Laboratory USDA 1961. 283p. (Agriculture Handbook, nº188).

RASMUSSEN, E. F. **Dry Kiln Operator's Manual**. Madison: USDA. Forest Products Laboratory USDA 1968. 197 p. (Agriculture Handbook, nº188).

SALAMON, M. High-temperature drying on its effect on wood properties. **Forest Prod. J.**, Madison, v. 19, n. 3, p. 27-34, 1969.

SANTINI, E. J. **Alternativas para Monitoramento e Controle do Processo de Secagem de Madeira Serrada em Estufa**. Curitiba, 1996. 198p. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SANTINI, E. J. **Secagem de madeira serrada em estufa solar e sua comparação com os métodos convencionais**. Ver. Floresta. Curitiba, v 14, n 2 , 61 – 70 p, 1983.

SANTOS, G.R.V. **Otimização da secagem da madeira de Eucalyptus grandis (HILL e MAIDEN)**. Piracicaba, 2002. 81p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SECRETARIA DE INDÚSTRIA, COMÉRCIO E MINERAÇÃO (SIC)– PROMADEIRA. **O Agronegócio da Madeira em Mato Grosso**. Cuiabá. 2000. 20p.

Secretaria de Comunicação Social de Mato Grosso – SECOM. Disponível: <http://www.secom.mt.gov.br>.

SENAI/DN **Perfil Competitivo do Estado de Mato Grosso / Mercoeste -Mato Grosso**. Brasília, 2002. 228p. (Mercoeste).

SENAI/DN **Perfil Competitivo do Estado de Mato Grosso / Mercoeste -Mato Grosso**. Brasília, 2003. 199p. (Mercoeste).

SIAU, J.F. **Transport processes in wood**. Berlim: Springer-Verlag, 1984. 254p. (Springer Science Series, 1).

SIMPSON, W.T. **Effect of air velocity on the drying rate of single eastern white pine boards**. USDA. Forest Service, Research Note FPL-RN-266,5p., sep 1997.

SIMPSON, W.T. **Dry Kiln Operator's Manual**. Madison. USA. Forest Products Laboratory USDA 1991. 274p. (Agriculture Handbook, nº188).

SIMPSON, W.T.; ROSEN, H.N. Equilibrium moisture content of wood at high temperatures. **Wood Fiber**, Lawrence, Kansas, v. 13, n. 3, p. 150-158, 1981.

SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse University Press, 1972.218p. (Syracuse Wood Science Series,4).

STCP – ENGENHARIA DE PROJETOS Ltda. **Secagem de madeiras serradas**. Curitiba: 1990. 68p.

STEINHAGEN, H.P. **Effect of kiln air velocity, at various moisture content levels, on drying rate of 4/4 yellow-poplar sapwood**. Forest Prod. J., v. 24, n. 4, p. 45-47, 1974.

SHARMA, N.S. **Solar timber drying** . In: SEMINAR ON INDUSTRIAL APPLICATION OF SOLAR ENERGY . Madras: Proceedings. 1- 6 p, 1975.

STEINMANN, D.E.; VERMAAS, H.F.; FORRER, J.B. **Solar timber drying kilns: Part1 – Review of previous systems and control measures and description of an automated solar kiln** . J. of Inst. of Wood Sci., London, v 8, n 6, 254 – 257p, 1980.

STEINMANN, D.E. ; VERMAAS, H.F.; FORRER, J.B. **Solar timber drying kilns: Part 2- Microprocessor control of a solar kiln** . J. of Inst. of Wood Sci., London, v 9, n 1, 27– 31p, 1981.

TOMASELLI, I. **Aspectos Físicos da Secagem da Madeira de *Pinus elliottii* Engelm acima de 100°C**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1981.128p tese (professor titular)-Setor de Ciências Agrárias.

TOMASELLI, I. **Condições da secagem artificial de madeiras serradas no Paraná e Santa Catarina**. Curitiba, 1974. 111p. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

TOMASELLI, I. **Secagem a Alta Temperatura: Um Processo Aplicável às Condições Brasileiras**. Brasil Madeira. Curitiba, 1979.

TOMASELLI, I., KLITZKE, R. J. **Secagem de madeira**. Curitiba: FUPEF, 2000. 290p.

VERMAAS, H.F. **Measuring the relative humidity of dry kiln air above 100⁰C.** Holz Roh-Werkstoff, Berlin, v 43, n 6, p 237-241, June 1985.

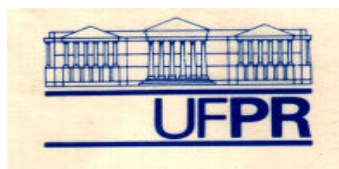
VITAL, B. R.; COLLON, J.L. **Secador solar para madeira.** Viçosa, MG : Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1974.

WALKER, J.C.F. **The drying of timber.** In: WALKER, J.C. *et al* . **Primary wood processing:** principles and practice. London: Chapman & Hall, 1993. p 247 – 284.

WENGERT, E.M. New techniques and equipment for measuring moisture content.

In : **Profitable Solutions for Quality Drying of Softwoods and Hardwoods.** Charlotte, 1994. p 9-84.

ANEXO I: QUESTIONÁRIO APLICADO NAS INDÚSTRIAS



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL
TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS

IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA:

Nome:	
Endereço:	
CEP:	Cidade: UF:
Atividade Econômica:	Fone:
CGC:	Fax:
Nº de funcionários:	

Porte da Empresa:

Micro () Pequena () Média () Grande ()

Contato: _____

Cargo: _____ e-mail _____

DADOS GERAIS:

Fonte de matéria-prima:

Floresta própria () () %

Madeira comprada () () %

Região onde a matéria-prima é adquirida: _____

Espécies mais utilizadas: _____

Uso a que se destina as madeiras secas: _____

Mercado Consumidor: _____

VOLUME DE MADEIRA SERRADA (m³) QUE SERÁ SECO:

Diário: _____ Mensal: _____ Anual: _____

Dimensões médias das peças de madeiras destinadas a secagem:

Largura: _____ cm; Espessura : _____ cm; Comprimento _____ m.

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA SECAGEM**SECADOR (ES):**

Marca: _____

Modelo : _____

Ano : _____

Quantidade: _____

Capacidade Nominal instalada: _____

Motivo da escolha do equipamento empregado

DIMENSÕES INTERNAS DA CAMARA:

Altura: _____

Largura: _____

Comprimento: _____

Capacidade m³: _____**DIMENSÕES DA PILHA DE MADEIRA**

Altura: _____

Largura: _____

Comprimento: _____

SISTEMA DE CARREGAMENTO: Vagonete () Empilhadeira ()

Vagonete com uma ou duas portas de carga e descarga- _____

CONSTRUÇÃO: Alvenaria () Alumínio () Alvenaria/Alumínio ()

Obs.: _____

SISTEMA DE VENTILAÇÃO:

Nº de ventiladores: _____

Diâmetro dos ventiladores: _____

Numero de pás: _____

R.P.M : _____

Reversível? Sim () Não ()

Distribuição no secador: _____

SISTEMA DE EXAUSTÃO

Dampers: SIM () NÃO ()

Quantos: _____

Posicionamento na estufa: _____

Exaustores: SIM () NÃO () Quantos : _____

Posicionamento: _____

SISTEMA DE GERAÇÃO DO CALOR:

Caldeira () Trocador de calor (intercambiador) () Boiller (água quente) ()

SISTEMA DE UMIDIFICAÇÃO

Com vapor () Com água quente () Com água fria ()

FORMA DE DISTRIBUIÇÃO DA UMIDIFICAÇÃO NA CAMARA:

Cano perfurado () Pulverização () Aspersores ()

COMBUSTÍVEL: _____**CALDEIRA:**

Ano: _____

Marca: _____ Modelo : _____

Pressão: _____

Volume de vapor (kg/hora): _____

MÉTODO DE SECAGEM**Sistema de empilhamento**

dimensões entre sarrafos _____ x _____ x _____

espaçamento entre sarrafos _____

uniformidade dos sarrafos _____

uniformidade em espessura do material em secagem _____

USO DE PROGRAMA DE SECAGEM: SIM () NÃO ()**QUAL?** _____

TIPO DE ACONDICIONAMENTO A QUE O MATERIAL Á SUBMETIDO

TIPO DE RECONDICIONAMENTO A QUE É SUBMETIDO NO CASO DE DEFEITOS _____**CONTROLE DE SECAGEM****EQUIPAMENTO EXISTENTE**

psicrômetro _____

controlador eletrônico (automatizado) Marca: _____

Controle semi-automatico: termômetros _____

Outros _____

Posicionamento na estufa _____

EQUIPAMENTO AUXILIAR

Estufa para corpo de prova _____

Balança de precisão _____

Medidores de umidade _____ marca _____

Outros _____

PESSOAL DE OPERAÇÃO

Nível escolar: _____

Aprendizado sobre a técnica: _____

Experiência anterior: _____

Obs.: _____

RESULTADOS OBTIDOS

Uniformidade: _____

% de umidade final: _____

% de perdas: _____

DEFEITOS OCORRENTES

rachaduras: _____

empenamentos : _____

colapso : _____

encanoamento : _____

outros : _____

Aceitação no mercado (preço alcançado em relação à madeira seca ao ar, a não seca, etc.)

Mercado interno: _____

Mercado externo: _____

PROBLEMAS ENCONTRADOS PELA EMPRESA

Falta de assistência técnica? SIM () NÃO ()

Faltam cursos e assistência para os operadores? SIM () NÃO ()

Há disponibilidade de um técnico/operador exclusivo para o setor de secagem?

SIM () NÃO ()

Há interesse da empresa em consultoria/assessoria técnica e tecnológica em secagem?

SIM () NÃO ()

DADOS ADICIONAIS:**CUSTOS DE SECAGEM ARTIFICIAL**

Custo por m³ de madeira seca: _____

Capital das estufas: _____

Tempo de depreciação: _____

Preço do m³ do material em secagem: _____

Taxa de juros: _____

Carga e descarga da estufa :

Tempo: _____

Número de operários: _____

Custo hora operário: _____

Custo hora do operador: _____

Funcionamento da estufa por dia: _____

Consumo de energia: _____

Preço da energia: _____

Custo da energia calorífica:

Capacidade da caldeira: _____

Tempo de depreciação: _____

Custo da água: _____

Custo do combustível por hora: _____

Outros custos: _____

Custos com assistência e manutenção: _____

Perdas: _____

Outros: _____

Obs.: _____

SECAGEM NATURAL

Custo por m³ de madeira seca: _____

Construções:

capital: _____

durabilidade: _____

Tempo de secagem: _____

Preço do m³ do material em secagem: _____

Tempo para empilhamento e desempilhamento por m³ : _____

Custo hora operário: _____

Custo de transporte: _____

Custos de manutenção: _____

Taxa de juros: _____

Outros: _____

Obs.: _____

Local: _____ Data: ____/____/____